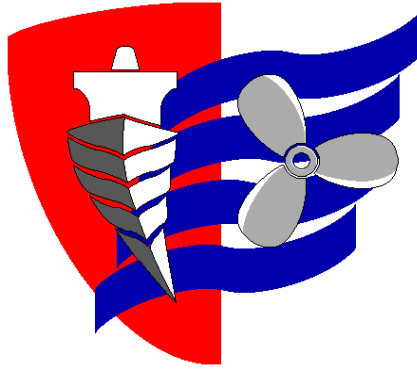


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Máster

**ESTUDIO DE REMOLQUE
APLICADO A UNA GABARRA**

(Towing study applied to a barge)

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN
MARÍTIMA**

Autor: Moisés González Barcenilla

Director: Francisco José Correa Ruiz

Septiembre - 2021

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Máster

**ESTUDIO DE REMOLQUE
APLICADO A UNA GABARRA**

(Towing study applied to a barge)

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN
MARÍTIMA**

Septiembre – 2021

AVISO DE RESPONSABILIDAD

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido. Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición. Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido. Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros, La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster, así como el profesor/a director no son responsables del contenido último de este Trabajo.

Resumen y Palabras clave

Resumen

Este trabajo de Fin de Máster se basa en el desarrollo del cálculo de un estudio de remolque mediante el uso de una hoja de cálculo Excel que nos realizara las resistencias, potencia y tiro necesaria para el remolque de forma automática mediante la introducción de los datos característicos de la gabarra. Para los presentes cálculos se tiene en cuenta la normativa y observaciones definidas por distintas entidades, pero especialmente las de la IMO.

La aplicación práctica de la metodología propuesta se ha realizado con un ejemplo de un estudio de remolque de un cajonero, el "KUGIRA", por ser el caso más especial que hemos remolcado al obligarnos a llevar un remolcador a popa como ayuda.

Palabras claves

Remolque, resistencia, escala Beaufort, velocidad.

Abstract and Keywords

Abstract

This Master's Thesis is based on the development of the calculation of a towing study using an Excel spreadsheet that will automatically perform the resistance, power and pull necessary for the towing by entering the characteristic data of the barge. For these calculations, the regulations and observations defined by different entities, but especially those of the IMO, are taken into account.

The practical application of the proposed methodology has been carried out with an example of a study towing a barge, the "KUGIRA", as it is the most special case that we have towed by forcing us to take a tugboat aft as an aid.

Keywords

Tow, resistance, Beaufort scale, speed

Contenido

Resumen y Palabras clave	2
Resumen	2
Palabras claves	2
Abstract and Keywords	3
Abstract	3
Keywords.....	3
1.- INTRODUCCIÓN.	6
2.-MEMORIA DESCRIPTIVA.	7
2.1.- Planteamiento del problema	7
<i>Flujograma pasos principales Estudio de Remolque</i>	8
2.2.- Hipótesis de partida y resultado.	9
2.2.1.- Hipótesis de partida	9
2.2.2.- Hipótesis de resultado	9
3.- METODOLOGÍA.	10
3.1- Parámetros necesarios.	10
<i>Disposición General Kugira</i>	14
<i>Disposición general Remolcador</i>	16
3.2.- Cálculos necesarios para determinar el tiro de remolque	17
3.2.1- Resistencia hidrodinámica	18
3.2.2- Resistencia aerodinámica:	24
3.2.3-Resistencia total.....	26
3.2.4- Estudio de las condiciones medioambientales de la ruta.	26
4.- ELEMENTOS DEL TREN DE REMOLQUE	28
4.2.-Elementos del tren de remolque principal	30
4.2.1.- Cable de remolque principal.....	30
4.2.2.- Elementos del tren del remolque	32
4.2.3.- Marcas, luces de remolque y escalas de embarque	36
4.2.4.- Elementos de fijación del remolque.....	38
4.2.5.- Esquemas de enganche	41
Esquema de enganche típico de una gabarra	41
Esquema de enganche de un bloque de hormigón para remolcar dentro del puerto. .	43

5.- ESTUDIO DE REMOLQUE PARA REMOLCAR EL CAJONERO “KUGIRA”	44
4.1.- Resistencia al remolque del artefacto	44
5.2.- Resistencia propia del remolcador	53
5.3.- Potencia necesaria	55
5.4.- Calculo Catenaria.	57
5.5.- Tren de remolque.	58
Esquema de enganche del Kugira del remolcador principal de tiro.	61
Características del tren de remolque auxiliar o de gobierno.....	62
Esquema de enganche del Kugira del remolcador de gobierno y remolque de fortuna...	63
5.6.-Ruta de navegación	65
5.6.1.-Puertos de refugio.....	65
5.7.-Luces y señales reglamentarias	65
5.8.- Análisis meteorológico.....	66
5.9.- Precauciones contra la inundación del remolcado	67
6.- CONCLUSIONES	68
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	69
8.- ANEXOS A INCORPORAR AL ESTUDIO DE REMOLQUE.....	70

1.- INTRODUCCIÓN.

Con este TFM se pretende lograr la elaboración de una metodología con la cual realizar un Excel con el que poder realizar de forma automática los cálculos necesarios para un estudio de remolque, disponiendo de unos datos básicos del artefacto o barco a remolcar y mediante esos datos introducidos en nuestro Excel nos dará los resultados de tiro necesario para poder realizar el remolque con seguridad.

Una vez obtenidos los valores de tiro y potencia requerida para el remolque se estudiarán la zona de navegación por la cual se realizará el remolque, para obtener información de corrientes y tiempo meteorológico de la zona en la época en la que realizaremos el remolque y se tendrá en cuenta todos los puertos de refugio que hay posibilidad de usar durante toda la ruta de navegación por si surgiera algún problema.

2.-MEMORIA DESCRIPTIVA.

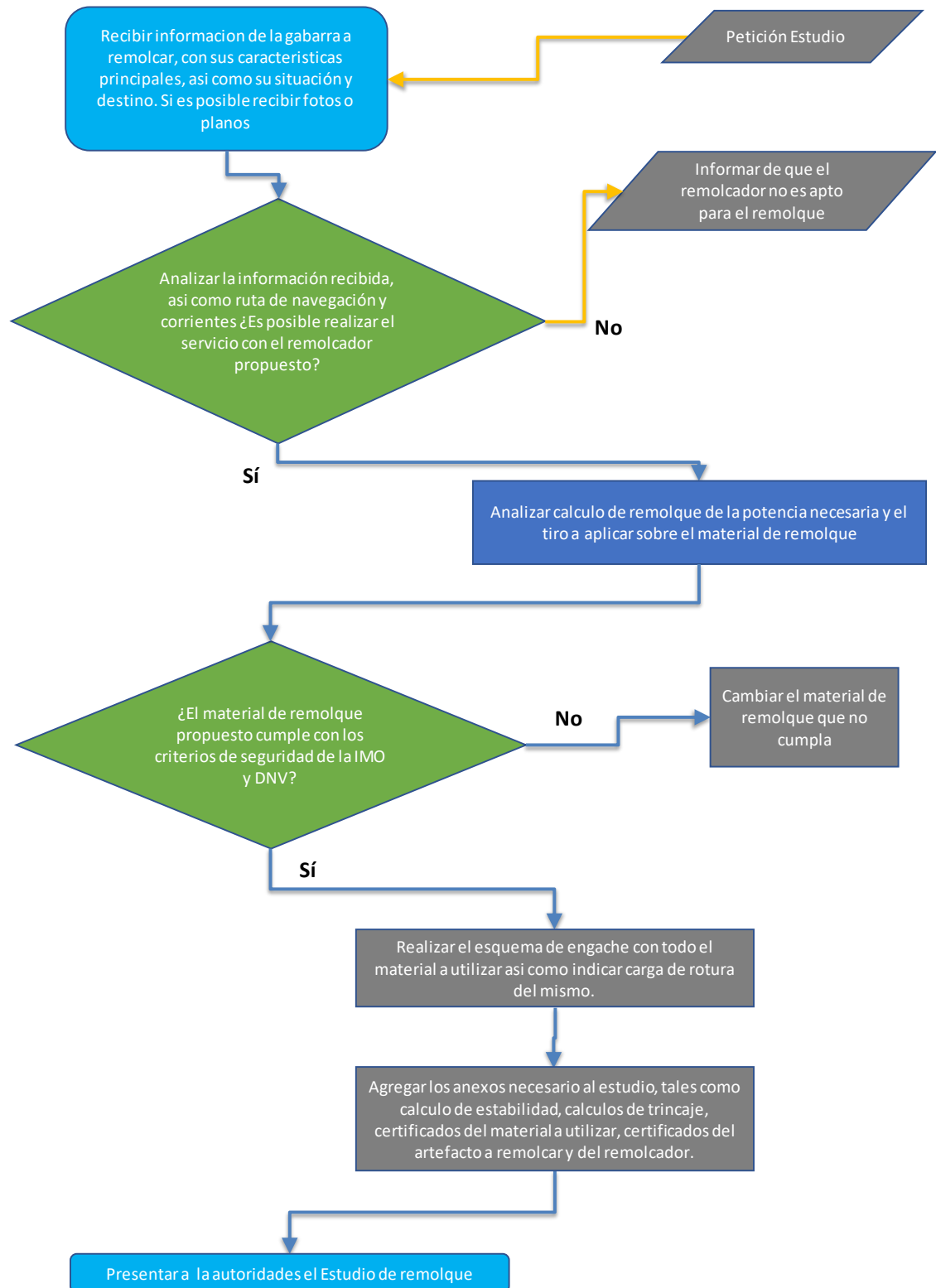
2.1.- Planteamiento del problema

Realizaremos los cálculos necesarios para conocer la potencia del remolcador necesaria para poder desplazar la cajonera “KUGIRA” la cual es una especie de dique flotante el cual es utilizado para la realización de cajones de hormigón con los cuales se construyen los muelles de los puertos. Este cajonero es el mas grande de Europa, tiene una eslora de 77,4m, una manga de 49 metros y una altura de 51m, en el cual puede construir bloques de hormigón de 34 metros de altura, 74 metros de eslora y 38 metros de manga y para descargar esos cajones que posteriormente serán remolcados hasta su emplazamiento definitivo, la cajonera se puede hundir hasta los 27 metros permitiendo que dichos bloques de hormigón floten.

El remolque se realizará entre los puertos de Barcelona y Cádiz, por lo que deberemos tener en cuentas las condiciones predominantes por esa zona de navegación, tales como vientos y corrientes predominantes. Durante ese trayecto es necesario tener muy en cuenta las corrientes, sobre todo a la hora de pasar el Estrecho de Gibraltar ya que es lo que más nos influirá en el cálculo de tiro. La corriente media predominante para esta ruta es de 0,5 nudos, con la cual realizaremos los cálculos.

Para la realización del remolque usaremos el remolcador “TRHEINTAYUNO” como remolcador de tiro principal y el remolcador “TRHEINTA” como remolcador de gobierno. Ambos remolcadores son buques gemelos, con una potencia de tiro continuo de 90 toneladas y un tiro máximo de 100 toneladas, tienen una eslora máxima de 31,5 metros y una manga de 11,2 metros. Ambos remolcadores están equipados con maquinillas de remolque a popa, con doble tambor, y 750 metros de cable de 56mm. Estas maquinillas cuentan con sensores de tiro para decirnos el tiro que vamos realizando en todo momento. El remolcador “TRHEINTA” que es el que ira de maniobra y emergencia ira enganchado mediante un cabo de 120 metros y 104 mm de diámetro a la maquinilla de proa para poder ayudar en las maniobras de entrada y salida de los puertos, y en el caso de emergencia por fallo del remolcador principal o rotura de la línea de remolque, podrá hacerse cargo del remolque hasta puerto de refugio, pudiendo alargar el remolque usando las maquinillas de popa de este.

Flujograma pasos principales Estudio de Remolque



2.2.- Hipótesis de partida y resultado.

2.2.1.- Hipótesis de partida

- Las hojas de cálculo que se realizarán para este estudio serán validas para el calculo de tiro y potencia necesaria en el remolque de una gabarra, cajonero o dique flotante teniendo en cuenta las formas de la proa, los objetos cargados en la gabarra o la superestructura de dique.
- Se deberá cumplir con los criterios que propone la IMO y también con los criterios del DNV.
- Debemos tener unos datos básicos del artefacto remolcado y del propio remolcador para poder realizar los cálculos oportunos

2.2.2.- Hipótesis de resultado

Se pretende crear:

- Una hoja Excel que nos calcule el tiro y potencia necesario para el remolque introduciendo unos datos básicos del artefacto remolcado.
- Para la realización de estos cálculos la tabla también tendrá en cuenta las corrientes predominantes durante la ruta de navegación.
- En esta misma hoja deberemos introducir el material de remolque que vamos a emplear y nos indicara si es valido o no, teniendo que aumentar la carga de rotura del material que salga no valido.
- El objetivo de la hoja es simplificar al máximo los cálculos, realizando todo automáticamente, y tan solo tendríamos que decidir el material de remolque a utilizar dependiendo del tiro y el objeto a remolcar.

3.- METODOLOGÍA.

3.1- Parámetros necesarios.

Para comenzar con nuestra hoja Excel necesitamos conocer unos datos básicos de la gabarra a remolcar y el remolcador a emplear en el estudio. En el desarrollo de este TFM usaremos los datos del cajonero “KUGIRA” (el más grande de Europa), perteneciente a la compañía ACCIONA, y los datos del remolcador “TRHEINTAYUNO” y “TRHEINTA”, perteneciente a REMOLQUES UNIDOS.



Los datos necesarios para la realización del estudio serán entregados por el armador del cajonero y tienen que ser los siguientes datos:

Eslora total	77,40 mts
Manga total	49,00 mts
Puntal (hasta la Cubierta Varada)	5,50 mts
Calado Medio S/L.B.	4,079 mts
Calado a Popa	4,35 mts
Calado a Proa	3,80 mts
Desplazamiento	14.490,00
Peso en Rosca	8.803,00 Tons.
Arqueo Bruto	5.593,00 Tons.
Arqueo Neto	1.678,00 Tons.
Calado Franco Bordo	4,422 mts
Manga de la Muralla	5,50 mts
Puntal a la Cubierta Superior (Muralla)	28,00 mts
Eslora de la Superestructura (Muralla)	68,00 mts
Altura de la Superestructura (Torres del "Paraguas")	51,00 mts

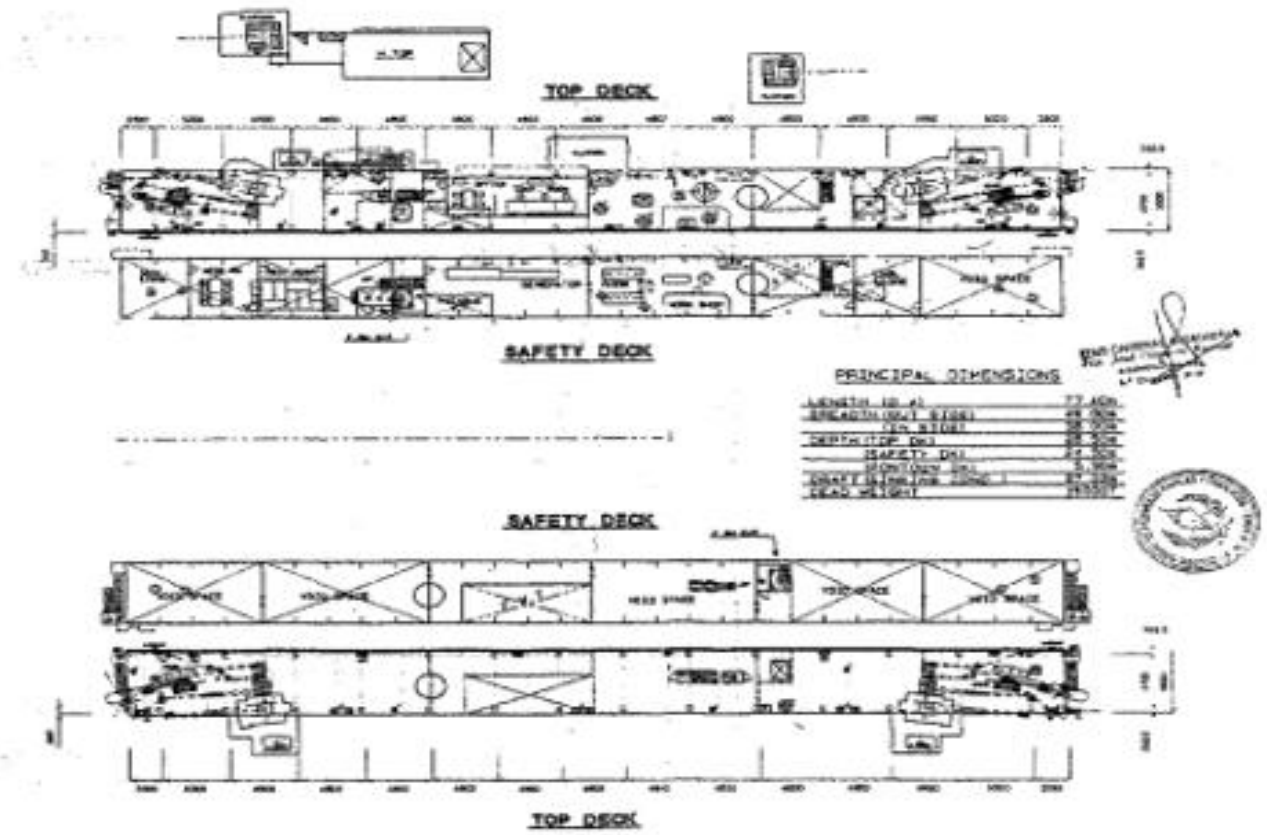
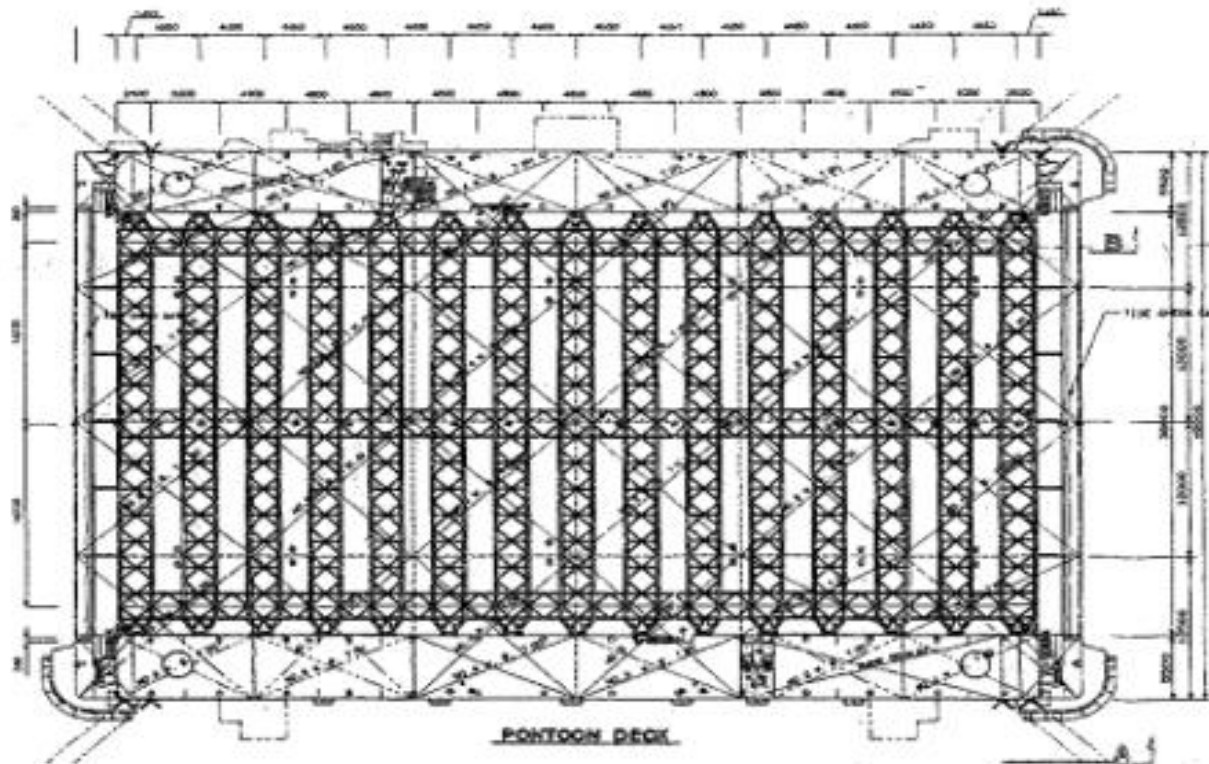
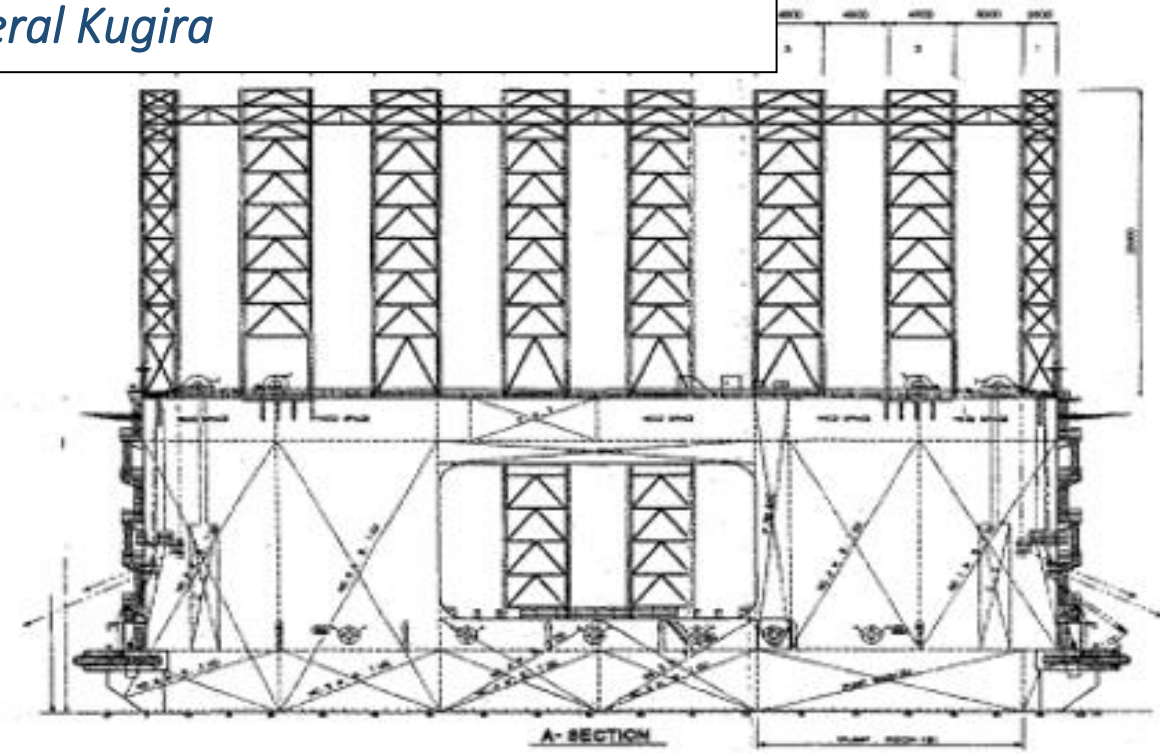
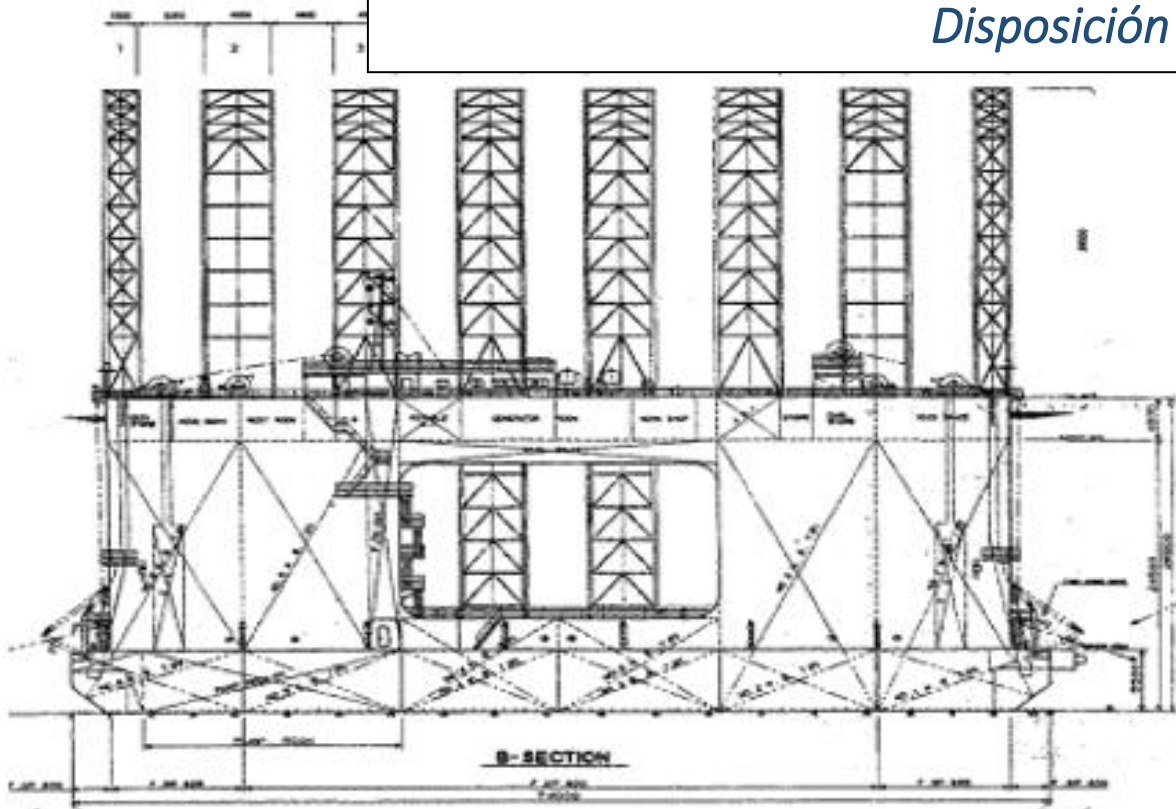
Los datos marcados en azul no serán necesarios para la realización de nuestro estudio.

Además de aportar estos datos nos tienen que aportar un plano de disposición general donde poder ver las formas del casco, que como veremos es muy importante para el cálculo de la resistencia. También nos tienen que informar de todas las dimensiones de los objetos que irán en la cubierta, para poder hacer los cálculos de la resistencia al viento correspondiente a esos objetos. El armador del buque nos tendrá que aportar el estudio de estabilidad correspondiente a la situación

del remolque, es decir, teniendo en cuenta todos los objetos que llevara el cajonero, estando marcada su situación y peso de estos, así como aportar un esquema de trincaje para todos esos objetos (aunque esto no nos es necesario para realizar los cálculos propiamente del estudio de remolque, si tienen que estar incorporadas al propio estudio como anexos al mismo).



Disposición General Kugira

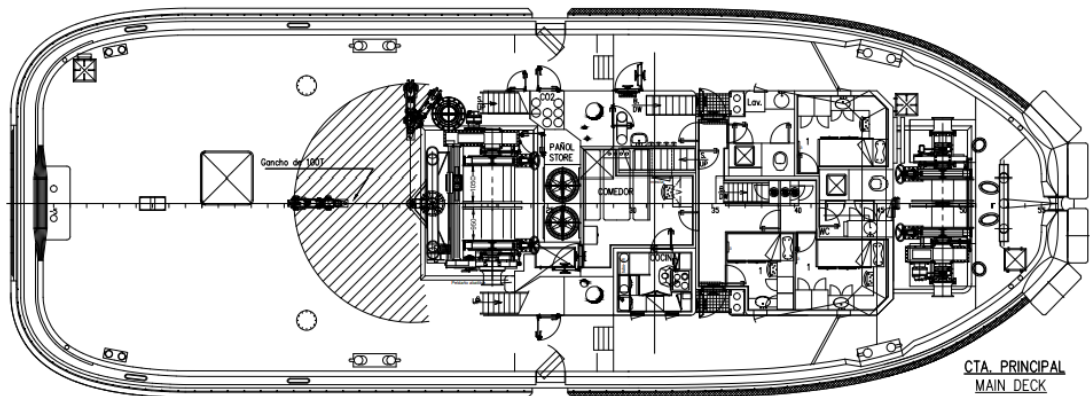
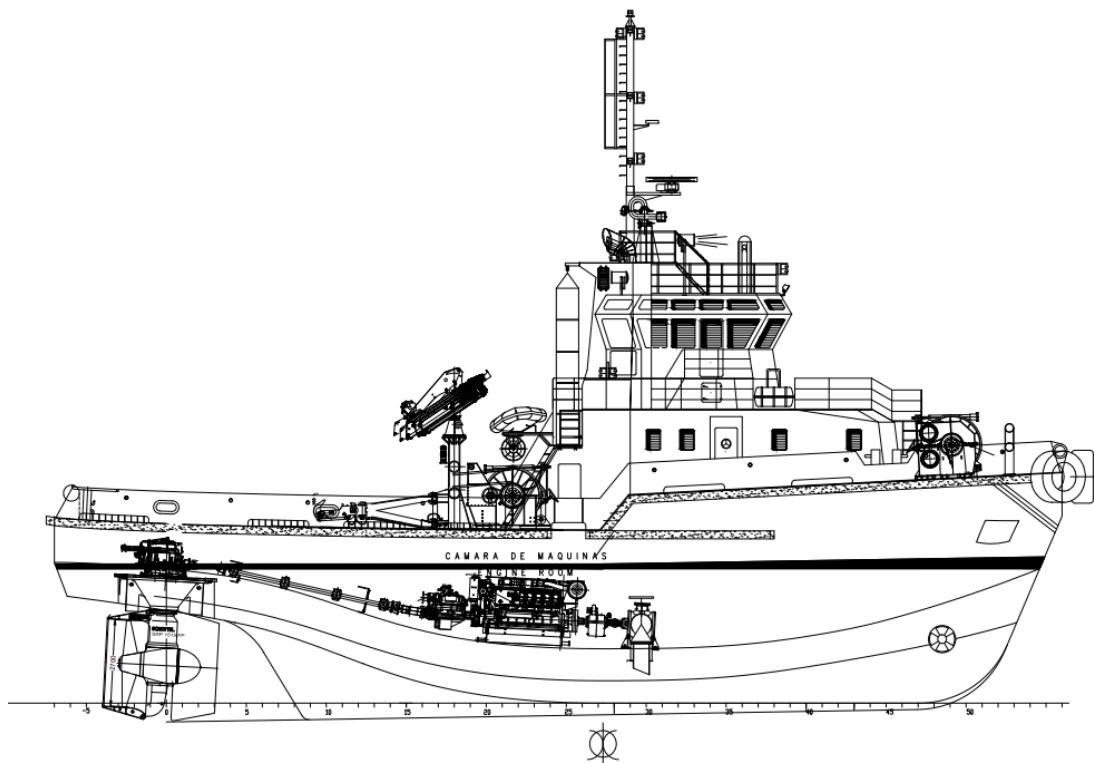


La compañía de remolcadores también nos tendrá que dar los datos básicos del remolcador para poder realizar el estudio de la potencia requerida para el movimiento del propio remolcador a la velocidad a la que vayamos a realizar el remolque o en su lugar una tabla de la potencia requerida a diferentes velocidades.

En este estudio de remolque se usaran dos remolcadores gemelos, aunque la potencia de tiro a usar tan solo será la de uno de ellos, ya que el otro ira tan solo de maniobra o en el caso de faltar el remolque principal (se usa normalmente para la entrada y salida de los puertos, debido a la dificultad de enganchar este tipo de artefacto flotante antes de entrar a puerto y como con estos artefactos las limitaciones de navegación son bastante importantes, puede pasar que tener que entrar a sitios de refugio sin posibilidad de remolcadores de ayuda).

DATOS REMOLCADOR	
NOMBRE	TRHEINTAYUNO
BANDERA	ESPAÑOLA
PUERTO DE REGISTRO	SANTANDER
ESLORA MÁXIMA	31,5
MANGA MÁXIMA	11,2
PUNTAL DE TRAZADO	5,4
CALADO MEDIO	4,4
TIRO APUNTO FIJO	90,98
ARQUEO BRUTO (GT)	437
MAQUINILLADE REMOLQUE	2 X 150 t
PORTENCIA MOTOR	2X3150 HP

Disposición general Remolcador



3.2.- Cálculos necesarios para determinar el tiro de remolque

Para el cálculo de tiro necesario para el remolque de una pontona podemos usar la siguiente formula emitida por Transport Canada Publication (TP 11960 E of 1995)[1] como guía, teniendo en cuenta el desplazamiento y las dimensiones de la gabarra:

$$BP = \left\{ \left(\frac{\Delta^{2/3} V^3}{120 \cdot 60} \right) + 0,06 B \cdot D \right\} \cdot K$$

BP = Tiro requerido (toneladas)

Δ = desplazamiento total de la gabarra (toneladas)

V = Velocidad del remolque (nudos)

B = manga de la gabarra (metros)

D = puntal de la sección transversal expuesta del buque remolcado, incluida la carga en cubierta, medido por encima de la línea de flotación (metros)

K = factor que depende de esperado tiempo meteo y condiciones de la mar predominante.

- Para remolques costeros expuestos K = 1.0 a 3.0
- para remolques costeros protegidos K = 0.75 a 2.0
- para remolques por agua protegidas K = 0.5 a 1.5

Esta es una formula muy básica con la que podemos sacar una aproximación, pero para nuestro estudio usaremos las siguientes fórmulas que son mucho más exactas y nos descomponen las fuerzas dependiendo de su origen.

Las fórmulas que usaremos para realizar nuestro estudio de remolque son las que veremos a continuación:

La resistencia de remolque se puede descomponer en diferentes componentes para facilitar su cálculo, siendo una división habitual:

$$R_{\text{total}} = R_{\text{hidrodinámica}} + R_{\text{aerodinámica}}$$

Las reglas del DNV establece que el remolcador debe tener la suficiente potencia para poder mantenerse con el barco a remolque a cero nudos bajo las siguientes condiciones:

- Velocidad del viento 20m/s
- Altura significativa de ola 5 m
- Corriente superficial 1m/s

En nuestro caso no usaremos sus fórmulas para nuestro estudio de remolque ya que con esas formulas no sabemos la potencia necesaria para determinadas velocidades con los diferentes estados de la mar, aunque si tendremos en cuenta que tenemos que poder mantener el objeto remolcado con un Bf 8 (es lo que requiere el BV) a una velocidad de 0 nudos contra la corriente.

3.2.1- Resistencia hidrodinámica

La resistencia hidrodinámica es aquella fuerza que se opone al movimiento del barco en un fluido viscoso. La resistencia hidrodinámica puede dividirse en:

$$R_{\text{hidrodinámica}} = R_{\text{fricción}} + R_{\text{oleaje}} + R_{\text{tren de remolque}}$$

En el caso de los remolques, la resistencia de oleaje tan solo tendremos en cuenta la resistencia debida a la altura de la ola, y no tendremos en cuenta la resistencia por formación de olas de la propia carena ya que al ser velocidades reducidas se pueden considerar despreciables.

Finalmente, la resistencia de fricción puede estimarse a partir de la resistencia de fricción de la placa frontal equivalente y las placas de fondo y costado equivalentes:

$$R_{\text{fricción}} = R_{\text{frontal}} + R_{\text{costado y fondo}}$$

- Resistencia de fricción:

Cuando un casco se mueve a través de un fluido, este arrastra con él parte del fluido adyacente a él, dentro del área considerada capa límite. Se denomina resistencia friccional o viscosa a aquella fuerza que actúa hacia popa del casco debida a la fricción del fluido con dicho casco[2].

En la imagen adjunta (fig.1) se puede observar el flujo del fluido y se encuentra representada la capa límite [3]

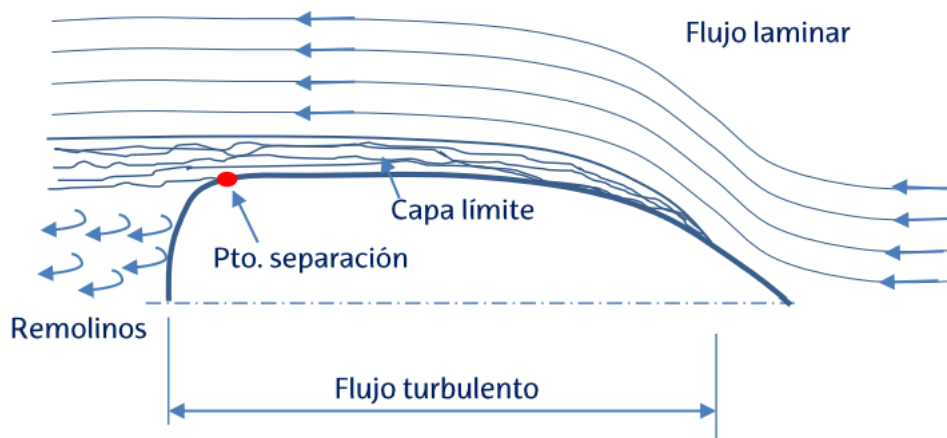


Fig. 1. Distribución de las líneas de flujo de agua a lo largo del casco

La resistencia de fricción que se genera a velocidades bajas supone el 85 % de la resistencia total de casco al avance y para las velocidades altas se reduce al 40-50%, por eso para el cálculo de tiro necesario para el remolque es muy importante realizar un buen cálculo de esta resistencia (Fig. 2 donde muestra como varían las resistencias en función de la velocidad del casco).

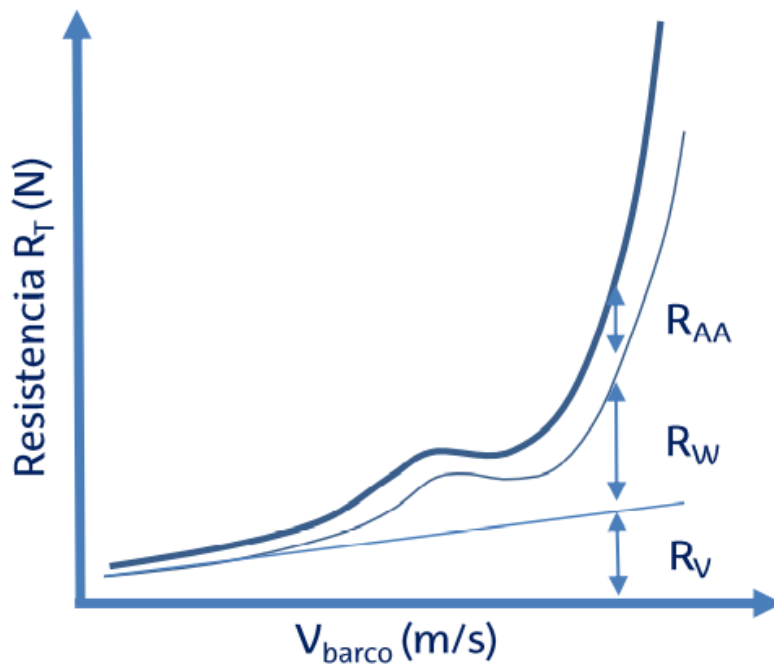


Fig. 2. Componentes de la resistencia total del casco en relación con la velocidad.

El cálculo de la resistencia de fricción de las placas frontales se realiza a partir de la fórmula de Jöessel [4]:

$$R_{frontal} = \frac{41,35 \cdot S_{frontal} \cdot V^2 \cdot \sin \beta}{0,2 + (0,3 \cdot \sin \beta)}$$

Siendo:

- $S_{frontal}$, el área frontal sumergida proyectada
- V , la velocidad de avance + la velocidad de la corriente
- β , el ángulo de lanzada de la proa

Como podemos observar se tiene en cuenta el ángulo de inclinación de la proa de la pontona, ya que existen unas grandes diferencias dependiendo del tipo de proa que tenga. Las imágenes que tenemos a continuación muestran las formas más habituales de las proas de las gabarras, siendo la más frecuente la figura 4 para este tipo de cajoneros. Para las gabarras diseñadas actualmente para el traslado de grandes piezas o material, la forma más utilizada es la fig. 6, que es lo que podremos considerar casi como proa de barco y es la que menor resistencia al avance ofrece[5].

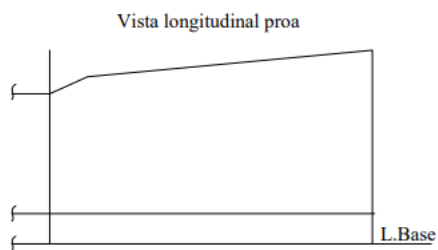


Fig. 3. Proa recta

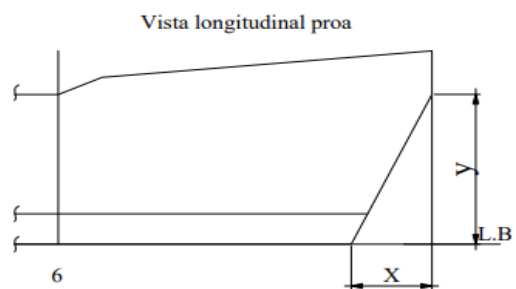


Fig. 4. Proa con inclinación pronunciada

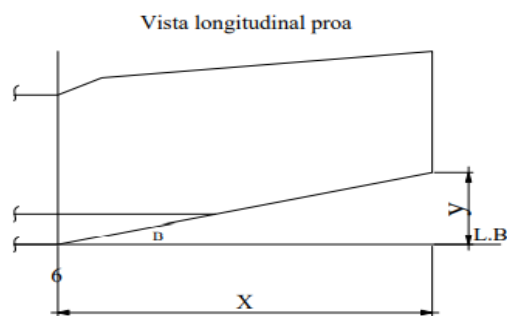


Fig. 5. Proa con inclinación suave

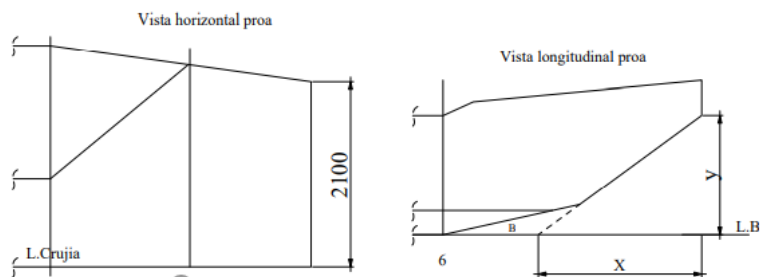


Fig. 6. Proa con inclinación suave y disminución de la manga hacia la proa.

Para el cálculo de las placas de costado y fondo se emplea la fórmula expresión siguiente propuesta por Froude:

$$R_{\text{costado y fondo}} = K \rho_{\text{as}} \cdot S_{\text{mojada}} \cdot V^{1,825}$$

Siendo:

- K , un coeficiente dado por $K = 0,1392 + \frac{0,258}{2,68+L}$
- ρ_{as} , densidad del agua de mar: 1.025 kg/dm^3
- S_{mojada} , superficie mojada de la obra viva

V, velocidad de avance + velocidad de la corriente

Para el cálculo de la superficie mojada lo podemos hacer con el coeficiente de bloque, y en el caso de no disponer de él, que es lo más habitual, podremos obtener este coeficiente con el desplazamiento dado y en el caso de no tener el valor de desplazamiento lo podríamos sacar de unas tablas con los valores típicos para los diferentes tipos de barcos.

CATEGORIA	COEFICIENTE BLOQUE (C _B)	VELOCIDAD APROX. (Nudos)
GABARRA	0,9-1	3,5-8
GRANELERO	0.8-0.85	12-17
BUQUE TANQUE	0.8-0.85	12-16
CARGA GENERAL	0.55-0.75	13-22
PORTACONTENEDORES	0.5-0.7	14-26
PASAJEROS	0.5-0.7	15-26

$$\nabla(m^3) = \frac{D(Tm)}{1,025(Tm/m^3)}$$

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{PP} \cdot B_{WL} \cdot D} = \frac{D(Tm) / 1,025(Tm/m^3)}{L_{PP} \cdot B_{WL} \cdot D}$$

Cuanto más pequeño sea el coeficiente de bloque significa que es un buque más rápido el cual tendrá menos resistencia al avance.

Con este C_b podemos calcular una superficie mojada, con las dimensiones que tenemos del casco de la gabarra o barco a remolcar (es una aproximación bastante aceptable)

$$S_{Mojada} = C_b \cdot L_{PP} \cdot B \cdot D$$

- Resistencia por oleaje:

La resistencia por formación de olas, para números de Froude inferiores a 0,2 apenas es representativa, y ese es el caso de la mayoría de los casos de remolque debido a las bajas velocidades a que se realizan.

Sin embargo, las condiciones de mar severas pueden ocasionar un aumento de resistencia en el transporte, y para estimar dicha influencia se tomará la siguiente fórmula empírica:

$$R_{oleaje} = \frac{0,377 \cdot Hw \cdot \min(Hw, Tm) \cdot B \cdot 1000}{9,81}$$

Siendo:

- Hw , la altura significativa ola
- Tm , el calado medio
- B , la manga

La resistencia debida al oleaje estimada es en función de los factores ambientales y no de la velocidad, por tanto, la fuerza que ejerce sobre el conjunto se puede tomar como estática para cada condición ambiental.

- Resistencia del tren de remolque:

El último término por calcular de la resistencia hidrodinámica es la resistencia generada por el propio tren de remolque, en función de las dimensiones del cable empleado y la velocidad de remolque de acuerdo con la siguiente expresión:

$$R_{\text{tren de remolque}} = L_{cs} \cdot d_c \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

Siendo:

- L_{cs} , longitud del cable sumergido, en metros
- d_c , diámetro de cable, en mm
-

3.2.2- Resistencia aerodinámica:

Finalmente se calculará la resistencia aerodinámica, usando la siguiente fórmula:

$$R_{\text{aerodinámica}} = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot C_H \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot S_t \cdot V_r^2$$

Siendo:

- C_x , un factor de resistencia adimensional que puede estimarse con las tablas propuestas en el reglamento de ABS a tal respecto, en función de la forma del cuerpo[6]
- ρ_{aire} , la densidad del aire, 1,25 kg/m³
- S_t , la superficie total afectada por la dirección del viento, de acuerdo con la expresión siguiente, donde los subíndices “se” se refieren a superestructura:
 $S_t = (L_{se} \cdot \sin(\alpha) + B_{se} \cdot \cos(\alpha)) \cdot h_{se} + (L \cdot \sin(\alpha) + B \cdot \cos(\alpha)) \cdot (D-T)$
- V_r , la velocidad de avance del conjunto más la velocidad del viento: $V_r = V + V_v$

La resistencia aerodinámica si se ve influida por la velocidad de remolque, ya que se tiene en cuenta para la velocidad aparente.

Shape Coefficient	
Shape	C _x
Spherical	0,4
Cylindrical	0,5
Large flat surface (hull, deckhouse, smooth under deck areas)	1
Drilling derrick	1,25
Wires	1,2
Exposed beams and girders under deck	1,3
Small parts	1,4
Isolated shapes (cranes, beam, etc)	1,5
Clustered deck houses or similar structures	1,1

Ch: Height Coefficient		
Height above sea level (metres)		
Over	Not exceeding	C _H
0	15,3	1
15,3	30,5	1,1
30,5	46	1,2
46	61	1,3
61	76	1,37
76	91,5	1,43
91,5	106,5	1,48
106,5	122	1,52

3.2.3-Resistencia total

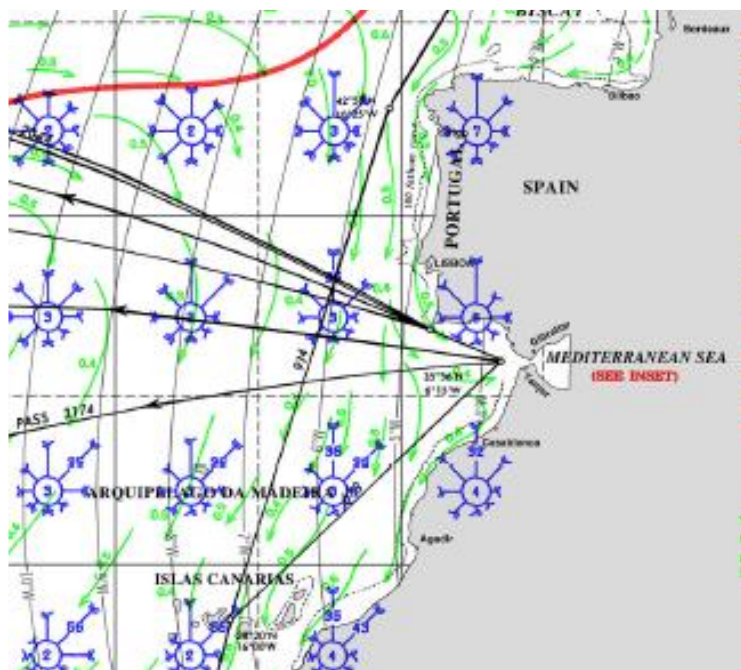
Sumando todos los resultados anteriores se puede obtener el tiro necesario, expresado en toneladas, para remolcar el artefacto en función de la velocidad deseada y situación de la mar de acuerdo con lo anteriormente expuesto.

$$R_{\text{total}} = R_{\text{hidrodinámica}} + R_{\text{aerodinámica}}$$

Y con este dato obtendríamos el tiro necesario para la realización del remolque, con lo cual deberemos calcular los elementos de remolque necesario para la realización del remolque, pero no el tiro del remolcador necesario ya que también habría que sumar la resistencia total del remolcador para moverse a la velocidad del remolque en las condiciones del remolque, aunque generalmente se supone una eficiencia del remolcador entre el 75% y el 85% y con este ya podríamos calcular el Tiro del remolcador necesario.

3.2.4- Estudio de las condiciones medioambientales de la ruta.

Se estudiarán las condiciones meteorológicas predominantes de las zonas por las que navegar, tales como vientos y mares predominantes, así como las corrientes predominantes para la ruta (usaremos las pilots chart para este dato), la cual la usaremos para el cálculo de tiro necesario. Teniendo en cuenta las condiciones predominantes de la ruta se hará el cálculo de tiro, ya que si debido a la época del año en la cual se realizara la operación las condiciones medioambientales superan por ejemplo Bf 6, nuestros cálculos de tiro deberán basarse en esa fuerza y no podrá tener limitación del remolque por debajo de esa fuerza.



Ejemplo de un mapa meteorológico que nos indica la dirección y fuerza de los vientos predominantes para una zona en una determinada época del año.

Las condiciones ambientales se definirán a partir de la escala de Beaufort para la velocidad de viento y la escala de Douglas para la altura de olas, relacionándola de forma directa con los valores equivalentes para Beaufort 2, 4, 6, 8. Los valores correspondientes tomados, de acuerdo con dichas escalas se recogen en la siguiente tabla:

Condiciones ambientales				
Escala	Bf. 2	Bf. 4	Bf. 6	Bf.8
Velocidad del viento (kn)	6,0	16,0	24,0	34,0
Altura significativa ola (m)	0,5	2	3	5

Como ángulo de incidencia del viento se tomará, normalmente, un valor de 0º, es decir, viento de proa.

Para cada una de estas condiciones estudiaremos el tiro necesario a distintas velocidades, y detallaremos el cálculo del tiro para la velocidad más idónea según la potencia y el bollard pull del remolcador.

Estudiadas las condiciones medioambientales y hecho el cálculo de tiro para las distintas condiciones se pondrá restricciones para la realización del servicio antes de que este comience, debiendo tener unos partes meteorológicos favorables por lo menos de 48 horas antes de comenzar el viaje, y se impondrá otra restricción que nos obligara a dirigirnos a un puerto de refugio o zona de refugio. Esta segunda restricción suele ser 1 o 2 escalas superiores de Bf y será o bien mediante la predicción

meteorológica recibida (suele ser lo más habitual recibir un parte meteorológico desfavorable con cierto tiempo de preaviso por lo que daría tiempo a dirigirnos a una zona de refugio o variar la ruta para evitarlo) o bien por las condiciones medioambientales presentes, las cuales nos pueden obligar a modificar nuestra ruta para capear el temporal o dirigirnos a zona de refugio si lo vemos más seguro (lo normal en este caso será capear el temporal, aguantándonos proa a la mar a la mínima velocidad posible para evitar movimientos peligrosos en el objeto remolcado).

4.- ELEMENTOS DEL TREN DE REMOLQUE

Los cálculos de cargas de rotura y trabajo seguras estarán basados en la normativa expuesta por la IMO en el documento MSC/Circ.884 del 21 de diciembre de 1998[7] También se tendrá en cuenta la normativa del DNV [8] la cual es más moderna, aunque muy similar a la anterior, aunque lo usual es usar la circular de la IMO porque es la más conocida internacionalmente.

Todo remolque que se realice sin tripulación a bordo deberá ir provisto de un segundo remolque, el remolque de emergencia, el cual deberá cumplir con los mismos requisitos de cargas de roturas que el remolque principal que vayamos a usar y deberá estar colocado de tal manera en el artefacto a remolcar que sea sencillo su recuperación en caso de rotura del elemento principal. La longitud mínima según la normativa del DNV[9] que será al menos la longitud del objeto a remolcar, aunque la IMO no dice nada al respecto de la longitud Si el remolque de fortuna está hecho firme en la proa, deberá estar amarrado por una de las bandas, dejándole totalmente libre de obstáculos para poder liberarse en caso necesario y por la popa del artefacto remolcado deberá ir flotando un boyarín de recuperación con una largura mínima de 50 metros y una carga de rotura de al menos 30 toneladas (la recomendaciones de la IMO no dicen nada al respecto de la carga de rotura de esta línea).



En estas dos imágenes se muestra la colocación del remolque de fortuna amarado por el costado del barco hasta la popa. También se puede observar la escala de embarque y la marca bicónica necesaria para el remolque.

4.2.-Elementos del tren de remolque principal

4.2.1.- Cable de remolque principal.

De acuerdo con la normativa citada se deben tener en cuenta algunos parámetros.

Su carga de rotura certificada no será inferior al valor dado por la expresión que corresponda entre las siguientes, según el tiro a usar durante el remolque, no el tiro a punto fijo del remolcador a utilizar, ya que esto da lugar a muchos malentendidos, ya que si fuera así sería totalmente imposible remolcar artefactos pequeños con remolcadores de gran tiro, ya que no dispondría de los elementos de trincaje necesario para ese tiro e incluso la mayoría de las veces sería totalmente inviable usar esa material por el simple hecho de su gran tamaño y peso.

Si seguimos las recomendaciones de la IMO usaríamos las siguientes fórmulas para la determinación de las cargas de rotura de la línea de remolque:

Carga de rotura mínima para las líneas de remolque	
Condición	Valor
Tiro <40 t	$3 \cdot \text{Tiro}$
$40\text{t} < \text{tiro} < 90\text{t}$	$(3,8 - \text{Tiro}/50) \cdot \text{Tiro}$
tiro > 90t	$2 \cdot \text{Tiro}$

Si usáramos las recomendaciones del DNV del año 2004 hay bastante diferencia con las recomendaciones de la IMO, las cargas de roturas recomendadas por el DNV serían:

Carga de rotura mínima para las líneas de remolque	
Condición	Valor
Tiro <40 t	$3 \cdot \text{Tiro}$
$40\text{t} < \text{tiro} < 90\text{t}$	$3,64 - 0,8 \cdot \text{Tiro}/50$
tiro > 90t	$2,2 \cdot \text{Tiro}$

En los últimos años las normas de DNV se han revisado [10] y se han equiparado casi a las recomendaciones de la IMO quedando la carga de rotura de la siguiente manera:

Carga de rotura mínima para las líneas de remolque		
Condición	Areas buenas	Otras Areas
Tiro <40 t	2 · Tiro	3 · Tiro
40t < tiro < 90t	2 · Tiro	(3,8 - Tiro/50) · Tiro
tiro > 90t	2 · Tiro	2 · Tiro

En las nuevas recomendaciones del DNV podemos observar cómo los valores son los mismos que las recomendaciones de la IMO, pero además distinguen la navegación entre áreas buenas y el resto de las áreas, pudiendo reducir considerablemente el material en las áreas buenas, por lo menos en los remolques donde se requiere menos de 90 toneladas de tiro.

La longitud de la línea de remolque debe tener una longitud mínima (siempre que hablemos de remolques de larga duración por aguas profundas) que será determinada mediante la siguiente fórmula peso (en este caso ambas normas usan exactamente la misma fórmula, al igual que la normativa de Bureau Veritas[11], aunque esta hoy en día está desactualizada y ya no se usa):

$$L = (BP/BL) \cdot 1800 \text{ m}$$

La longitud mínima del remolque no será menor de 650 metros, aunque en las zonas de navegación por buenas áreas, se podrá reducir a 500 metros.

En el caso de remolque costero por zona de navegación buena, la fórmula para determinar la longitud del remolque será:

$$L > (BP/MBL) \cdot 1200 \text{ metres}$$

En este caso si se puede aceptar remolques menores de los 500 metros.

4.2.2.- Elementos del tren del remolque

Para los demás materiales usados en la línea de remolque también tienen que cumplir con otros factores de seguridad.

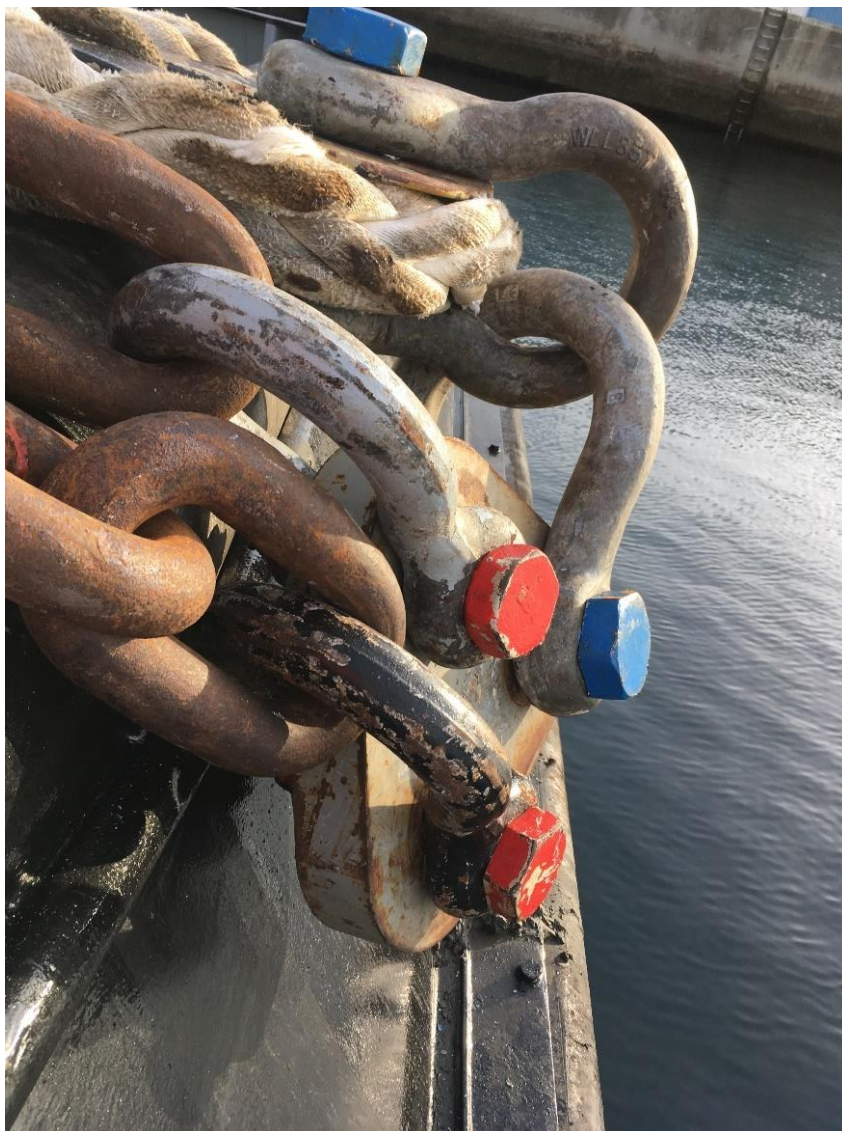
En el caso del uso de cadenas o galgas de acero, estas deberán tener por lo menos el mismo MBL que la línea de remolque principal.

En el caso de los grilletes o argollas usadas para las conexiones, así como el triángulo de remolque, debe tener un coeficiente de seguridad un 50% superior al MBL de la línea de remolque principal.

Para los cabos sintéticos si el tiro del remolcador es menor de 50 toneladas se le aplicará un porcentaje de seguridad del 100%, pero en el caso del tiro ser mayor a 100 toneladas, se le aplicará un porcentaje del 50 %, y entre 50-100 se hará una interpolación.

En el caso del uso de un fusible, se permitirá una reducción del 10% con respecto a la línea principal.

Carga de rotura mínima	
Elementos	MBL requerido
Grilletes	1,5*MBL de la línea principal
Cadenas y cables de acero	MBL línea principal
Fusible	0,9*MBL de la línea principal
Cabos	2*MBL si el tiro < 50 T
	1,5*MBL si el tiro > 100 T
	Si el tiro 50-100 se interpolará



Grilletes y
triangulo
usados en
operaciones
de
remolque, el
MBL tiene
que ser 1,5
MBL de la
línea
principal



Cadenas usadas para la conexión con el artefacto remolcado, su MBL tiene que ser igual al MBL de la línea principal. Se suelen usar cadenas en las zonas de roce porque aguantan muy bien los esfuerzos y el desgaste.



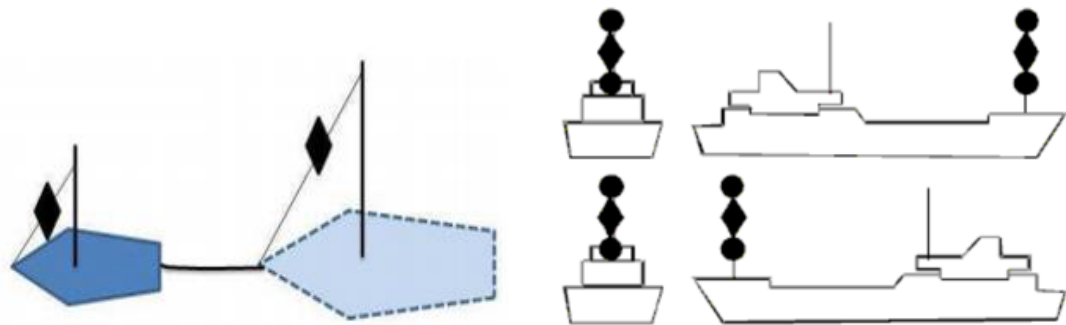
Estrecher de remolque, que se coloca entre el cable de remolque principal y el triángulo de remolque (en el caso de usarlo) o las cadenas o galgas que conecten con el artefacto. El MBL tiene que ser como mínimo 1,5 MBL de la línea principal y deberá ir provisto de guardacabos en ambos extremos. Se usan este tipo de cabo de nylon porque tiene una elasticidad de aproximadamente del 50 % y absorbe los tirones que pueda pegar el remolcador sobre todo cuando estas entrando a saliendo de puerto, ya que lo debes hacer con el remolque principal bastante acortado.



Maquinilla con el cable de remolque principal (750 m diámetro 56) y el segundo tambor con el cable de respecto, para usar en el caso

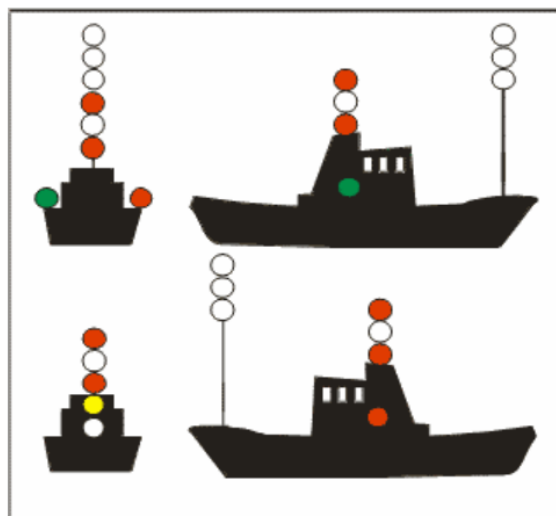
4.2.3.- Marcas, luces de remolque y escalas de embarque

Durante la realización del remolque será necesario la colocación de una marca bicónica en el remolcador y otra en el artefacto remolcador para indicar que vamos remolcando, mientras haya luz. También podemos llevar las marcas que indican que vamos con maniobra restringida, que consiste en dos bolas negras y una marca bicónica.



Duranta la noche, el remolcador deberá llevar las luces que indican que vamos remolcando y estas serán los dos o 3 tope (eso dependerá si el remolque es mayor de 200 metros, que por lo general así será), las dos situaciones, la luz de alcance y además la luz naranja de remolque. En la mayoría de los casos también se llevarán puestas las luces de maniobra restringida.

Remolcador
Longitud de remolque > 200 metros
con capacidad de maniobra restringida
del remolcador y el remolcado



En el objeto remolcado hay que poner las dos situaciones y la luz de alcance. Antiguamente se usaban faroles a gas, pero en días ventosos se apagaban con mucha facilidad y era necesario subir de nuevo para poder encenderlas. También se usaban luces con baterías, pero para remolques muy largos era necesario la colocación de un gran número de baterías, pero en la actualidad gracias a las luces led y los paneles solares se usan unas pequeñas luces que llevan incorporado un panel solar y una pequeña batería. Durante el día las luces se apagan al recibir luz el panel solar, además de cargar la pequeña batería que lleva incorporada. Gracias al bajo consumo de los leds, las luces con sus propias baterías llegan a durar 21 días sin luz solar que la cargue, pero con luz solar durante al menos 8 horas diarias, la duración de estas puede considerarse anual.



Es necesario que el objeto remolcado lleve colocada en ambas bandas una escala de embarque, y a ser posible a la mitad de la eslora para facilitar el acceso a este en caso de que fuera necesario.



Es necesario de la colocación de una escalera de embarque en cada banda para poder embarcar en caso necesario y cuando se acceda a los puertos.

4.2.4.- Elementos de fijación del remolque.

Otra de las cosas para tener en cuenta durante la realización del remolque serán los puntos donde se debe hacer firme el remolque a la pontona, teniendo en cuenta que el SWL de ese punto debe ser igual o superior al BP requerido durante el viaje. Aunque el remolque se enganche a pie de gallo, ambos puntos de enganche deberán tener un SWL igual al BP, ya que cuando la pontona se revira tan solo se queda tirando de uno de los enganches, aunque en multitud de ocasiones es recomendable el uso del pie de gallo porque nos ayuda a corregir antes el rumbo de la pontona, ya que con que se revire tan solo un poco, ya estaremos tirando más de una cabeza que de la otra, por lo que tiende a enderezar el rumbo rápidamente.

Los puntos de enganche habitualmente usado son bitas, donde deberá venir marcado su SWL.

Bitas donde está marcado su SWL con una cadena de remolque hecho firme a ella mediante el uso de un grillete.



En el caso de usar cadenas para el enganche, las cadenas se harán firme a las bitas como se ve en la fotografía anterior.



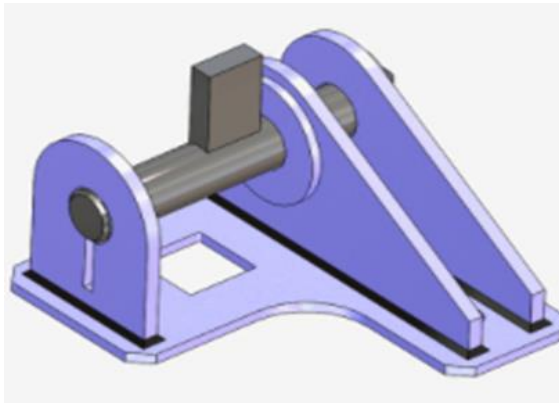
Bitas donde esta encapillado una galga de remolque y para asegurar que no se pueda escapar se coloca una cabo en la misma bita.

En el caso de usar galgas de acero para la conexión a la bita es recomendable que una vez que la galga este colocada en la bita, se coloquen cabos en la propia bita para evitar que esta pueda escaparse, como se muestra en la imagen superior.

En el caso de usar gateras, también hay que tener muy en cuenta su SWL ya que parte de la fuerza la absorberá la gatera.



Otro punto de enganche que nos podemos encontrar son los Smith bracket, que están diseñados explícitamente para el remolque, facilitando en gran medida el enganche y el desenganche.



Smith bracket donde es muy fácil la conexión de la cadena o un grillete.

Y finalmente nos quedan los cáncamos para el remolque, los cuales son los más habituales encontrar en las pontonas, que son simplemente un chapón con un agujero torneado (específico para un determinado grillete), el cual estará diseñado para un SWL adecuado para el remolque de esa pontona.

4.2.5.- Esquemas de enganche

En todo estudio de remolque habrá que presentar un esquema de enganche donde deben de quedar indicados todos los elementos que usaremos para el remolque, así como su carga de rotura o carga de trabajo (normalmente se pone la carga de trabajo ya que depende de que elemento y la carga de trabajo de ese elemento tienen un coeficiente de seguridad u otro) así como la longitud de este.

El estudio de remolque normalmente le realizan las autoridades del país donde se inicia el viaje, indicándote ellos cual es la potencia necesaria para el remolque, pero en determinados países, como es el caso de España, tienes que presentar un estudio de remolque completo el cual debe estar asegurado. En el resto de los sitios, aunque no tengas que realizar el estudio de remolque, siempre tendrás que presentar un esquema de enganche debidamente cumplimentado y firmado y sellado por el capitán del remolcador. Se adjuntan unos esquemas de enganche a modo de ejemplo.

Esquema de enganche típico de una gabarra.

En el siguiente esquema se ve los elementos comúnmente usados para el remolque de una gabarra con un remolcador de 90 toneladas de tiro. Se puede observar que se usan dos cadenas para formar un pie de gallo. Dichas cadenas están unidas mediante grillete a una placa triangular y a su vez está unida a un cabo de nylon, denominado strecher, que se pone para adsorber los tirones que pueda dar el remolcador, sobre todo entrando y saliendo de los puertos y finalmente a ese strecher se une el cable de remolque principal el cual va metido en una maquinilla con el que podemos arriar o virar a medida que lo necesitemos, teniendo muy en cuenta la catenaria que nos deja la línea del remolque con el calado de la zona por la que vamos navegando para evitar enganchar en el fondo y faltar el remolque.

También se puede observar que como remolque de emergencia se ha colocado una estacha que va amarrado por el costado de la pontona e ira un boyarín por la popa de esta con al menos 50 metros de largo en el agua, para poder recuperarlo en caso de faltar el remolque principal (en muchas ocasiones el remolque de fortuna se coloca en la popa de la pontona para en el caso de sufrir algún daño la proa poder remolcarle de popa hasta el siguiente puerto de refugio).

Para el cálculo de la catenaria usaremos la siguiente formula:

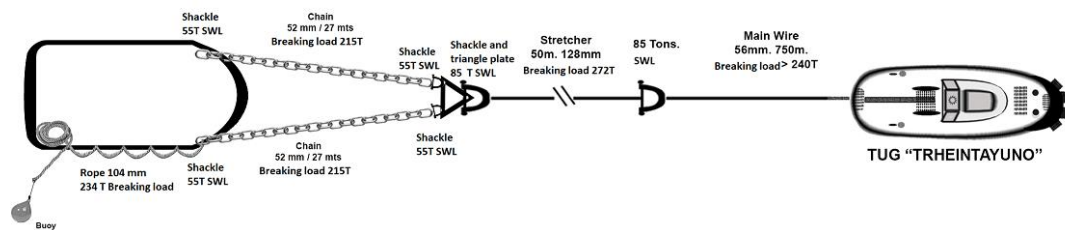
$$C = \frac{(\frac{L}{2})^2 \cdot P/m}{2T}$$

L= Longitud de la línea de remolque

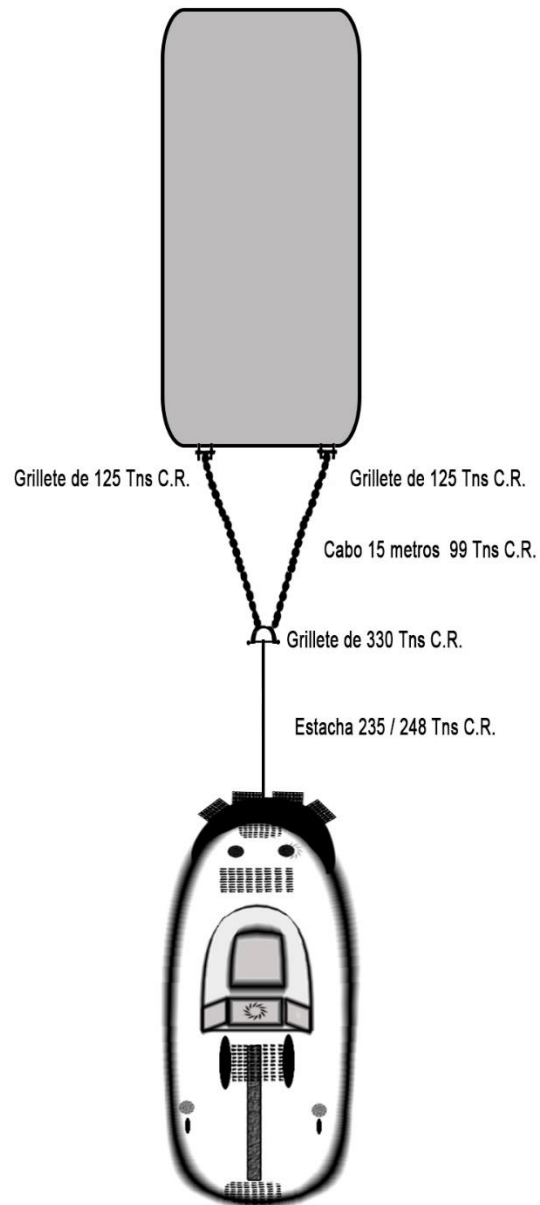
P/m= peso por metro de la línea de remolque

T= Tiro aplicado

TOWING ARRANGEMENT



Esquema de enganche de un bloque de hormigón para remolcar dentro del puerto.



ESQUEMA DE ENGANCHE CAJONES MAR DEL ANETO

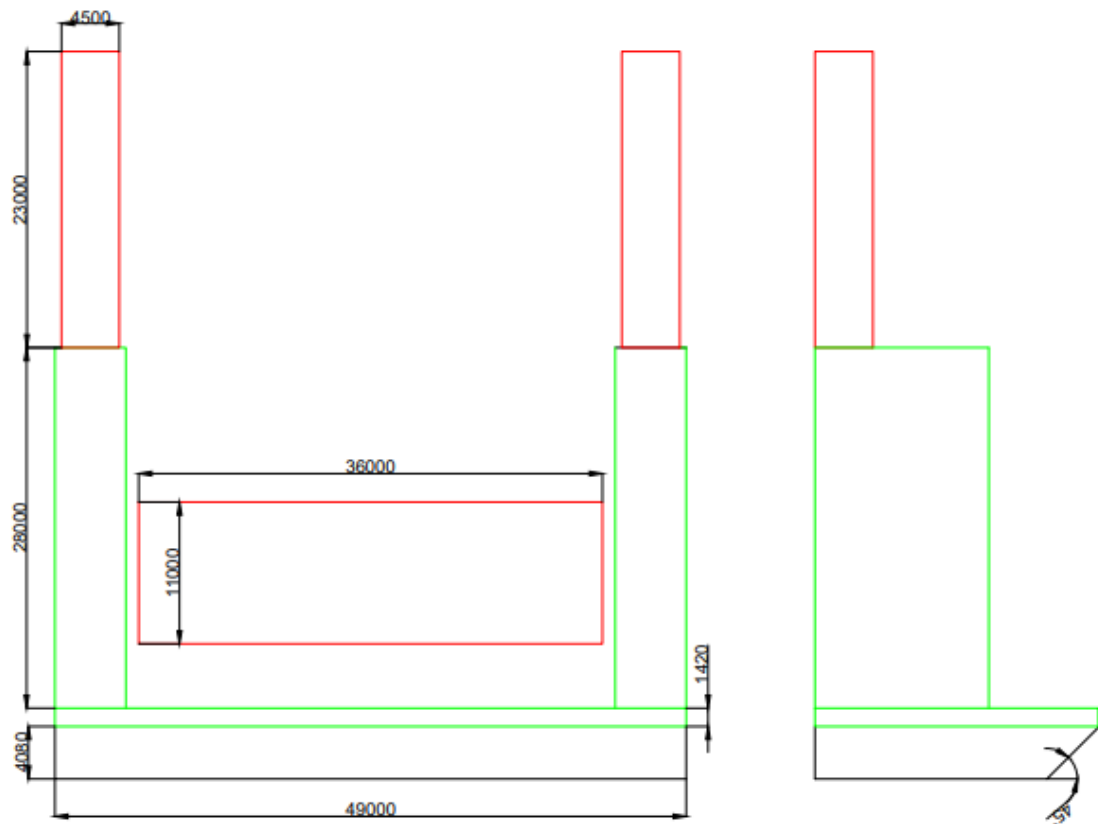
5.- ESTUDIO DE REMOLQUE PARA REMOLCAR EL CAJONERO “KUGIRA”

4.1.- Resistencia al remolque del artefacto

Con el Excel que hemos preparado primeramente debemos introducir los datos del Kugira cuyas casillas están coloreadas.

DATOS ARTEFACTO A REMOLCAR	
NOMBRE	KUGIRA
BANDERA	ESPAÑOLA
TIPO	CAJONERO
ESLORA MÁXIMA	77,40
MANGA MÁXIMA	49,00
PUNTAL DE TRAZADO	5,50
CALADO MEDIO	4,08
CALADO MÁXIMO	4,35
ESLORA SUPERESTRUCTURA	68,00
MANGA SUPERESTRUCTURA	11,00
ALTURA SUPERESTRUCTURA	28,00
DESPLAZAMIENTO	14.490,00
COEFICIENTE DE BLOQUE	0,91
SUPERFICIE MOJADA	14.136,59
SUPERFICIE FRONTAL	213,15
LONGITUD SUPERESTRUCTURA celosía	66,00
MANGA SUPERESTRUCTURA CELOSIA	9,00
ALTURA SUPERESTRUCTURA CELOSIA	23,00
COEFICIENTE FORMA (VER TABLA)	1,25
área del paraguas del cajonero (altura del paraguas x MANGA PARAGUAS)	396,00
COEFICIENTE altura (VER TABLA)	1,20
Velocidad de la corriente en nudos	0,50

Con los datos introducidos en nuestro Excel el programa nos calculara las diferentes fuerzas que se aplicaran sobre el Kugira. La velocidad de la corriente que hemos introducido es la corriente predominante para nuestra área de navegación que habremos tenido que estudiar previamente mediante los pilot chart así como las condiciones meteorológicas predominantes de esa zona en esa época del año.



Nos haremos un pequeño plano con los datos que nos han dado, con las diferentes medidas para poder calcular las diferentes superficies y el ángulo del raque. Hemos marcado en color rojo el paraguas y la celosía superior, ya que al estar hecho con multitud de ángulos, habrá que aplicar un coeficiente para el cálculo de la superficie, que en este caso debido al tipo de superficie será 1,25. A la celosía superior a parte de ese coeficiente habrá que aplicarle un coeficiente debido a la altura, en este caso es 1,2. La parte del dibujo en verde es la superficie solido expuesta al viento, ya que para el remolque la resistencia al viento siempre se calculó de proa a él, así que no tendremos en cuenta la superficie lateral del cajonero y la parte marcado en negro es la obra viva, con la cual calcularemos la superficie frontal y el ángulo del raque.

Como vimos anteriormente la resistencia al avance se divide en dos tipos.

$$R_{\text{total}} = R_{\text{hidrodinámica}} + R_{\text{aerodinámica}}$$

Comenzaremos con el cálculo de la resistencia hidrodinámica que a su vez se divide en otras tres.

$$R_{\text{hidrodinámica}} = R_{\text{fricción}} + R_{\text{oleaje}} + R_{\text{tren de remolque}}$$

$$R_{\text{fricción}} = R_{\text{frontal}} + R_{\text{costado y fondo}}$$

Aplicando las fórmulas anteriormente descritas usando los datos que nos ha dado obtenemos una tabla con la resistencia de fricción para las diferentes velocidades del proyecto. Para ello tenemos que calcular la superficie frontal la cual lo aremos usando el calado y la manga. Tendremos que sacar del plano el ángulo del raque para poder introducirlo en la formula y calcularemos la superficie mojada, mediante el coeficiente de bloque que en este caso como no le tenemos le tendremos que calcular con el desplazamiento dado.

$$R_{\text{frontal}} = \frac{41,35 \cdot S_{\text{frontal}} \cdot V^2 \cdot \sin \beta}{0,2 + (0,3 \cdot \sin \beta)}$$

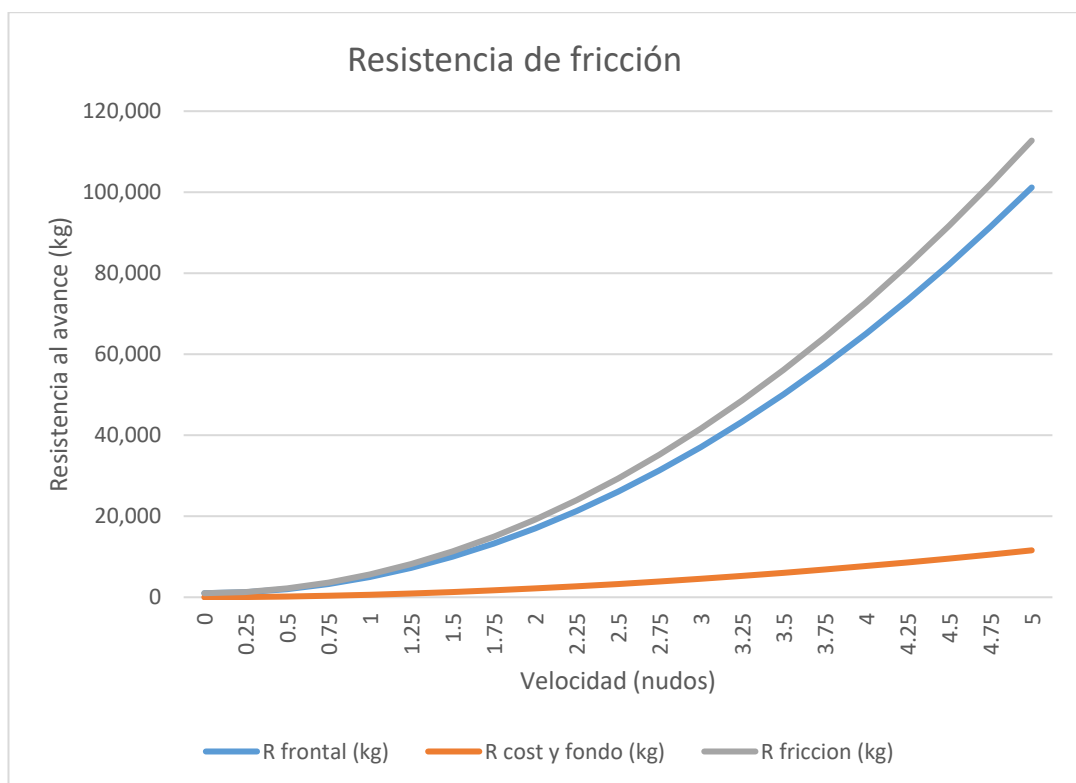
$$R_{\text{costado y fondo}} = K \rho_{\text{as}} \cdot S_{\text{mojada}} \cdot V^{1,825}$$

$$\nabla(m^3) = \frac{D(Tm)}{1,025(Tm/m^3)}$$

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{PP} \cdot B_{WL} \cdot D} = \frac{D(Tm) / 1,025(Tm/m^3)}{L_{PP} \cdot B_{WL} \cdot D}$$

$$S_{\text{Mojada}} = C_b \cdot L_{PP} \cdot B \cdot D$$

R fricción			
V (kn)	R frontal (kg)	R cost y fondo (kg)	R fricción (kg)
0	1.001,60	0,00	1.001,60
0,25	1.252,00	48,92	1.300,93
0,5	2.003,20	173,33	2.176,54
0,75	3.255,21	363,29	3.618,50
1	5.008,01	614,14	5.622,15
1,25	7.261,62	922,84	8.184,46
1,5	10.016,02	1.287,16	11.303,18
1,75	13.271,23	1.705,34	14.976,57
2	17.027,24	2.175,93	19.203,17
2,25	21.284,05	2.697,73	23.981,78
2,5	26.041,66	3.269,68	29.311,35
2,75	31.300,07	3.890,88	35.190,95
3	37.059,29	4.560,49	41.619,78
3,25	43.319,30	5.277,79	48.597,10
3,5	50.080,12	6.042,12	56.122,24
3,75	57.341,73	6.852,87	64.194,60
4	65.104,15	7.709,48	72.813,63
4,25	73.367,37	8.611,43	81.978,80
4,5	82.131,39	9.558,25	91.689,64
4,75	91.396,21	10.549,48	101.945,70
5	101.161,84	11.584,72	112.746,56



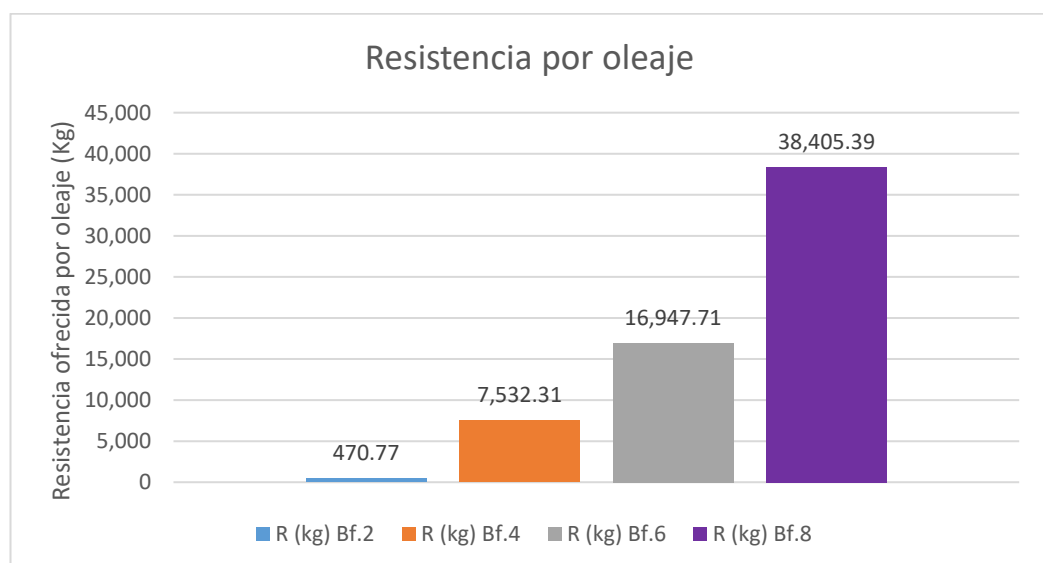
En la gráfica se observa claramente como la resistencia de fricción depende mayormente de la resistencia frontal, aumentando muy rápidamente a medida que aumentamos nuestra velocidad, sin embargo, la resistencia de costado y fondos aumenta más o menos progresiva con la velocidad

Ahora pasaremos a calcular la resistencia por olas y esta ira en función del estado de la mar, ya que la resistencia generada por la formación de olas del propio cajonero es despreciada debido a la baja velocidad del remolque.

Condiciones ambientales				
Escala	Bf. 2	Bf. 4	Bf. 6	Bf.8
Velocidad del viento (kn)	6,0	16,0	24,0	34,0
Altura significativa ola (m)	0,5	2	3	5

$$R_{oleaje} = \frac{0,377 \cdot Hw \cdot \min(Hw, Tm) \cdot B \cdot 1000}{9,81}$$

R olas			
R (kg) Bf.2	R (kg) Bf.4	R (kg) Bf.6	R (kg) Bf.8
470,77	7.532,31	16.947,71	38.405,39



En la gráfica también se observa como la resistencia por oleaje aumenta rápidamente al aumentar la altura de la ola.

Para finalizar de calcular la resistencia hidrodinámica tenemos que calcular la resistencia que ofrece el propio cable de remolque.

$$R_{\text{tren de remolque}} = L_{cs} \cdot d_c \cdot V^2 \cdot 10^{-3}$$

R tren de remolque	
V (kn)	R remolque (kg)
0	0,00
0,25	0,56
0,5	2,23
0,75	5,01
1	8,90
1,25	13,91
1,5	20,03
1,75	27,26
2	35,61
2,25	45,07
2,5	55,64
2,75	67,32
3	80,12
3,25	94,03
3,5	109,05
3,75	125,18
4	142,43
4,25	160,79
4,5	180,26
4,75	200,85
5	222,55

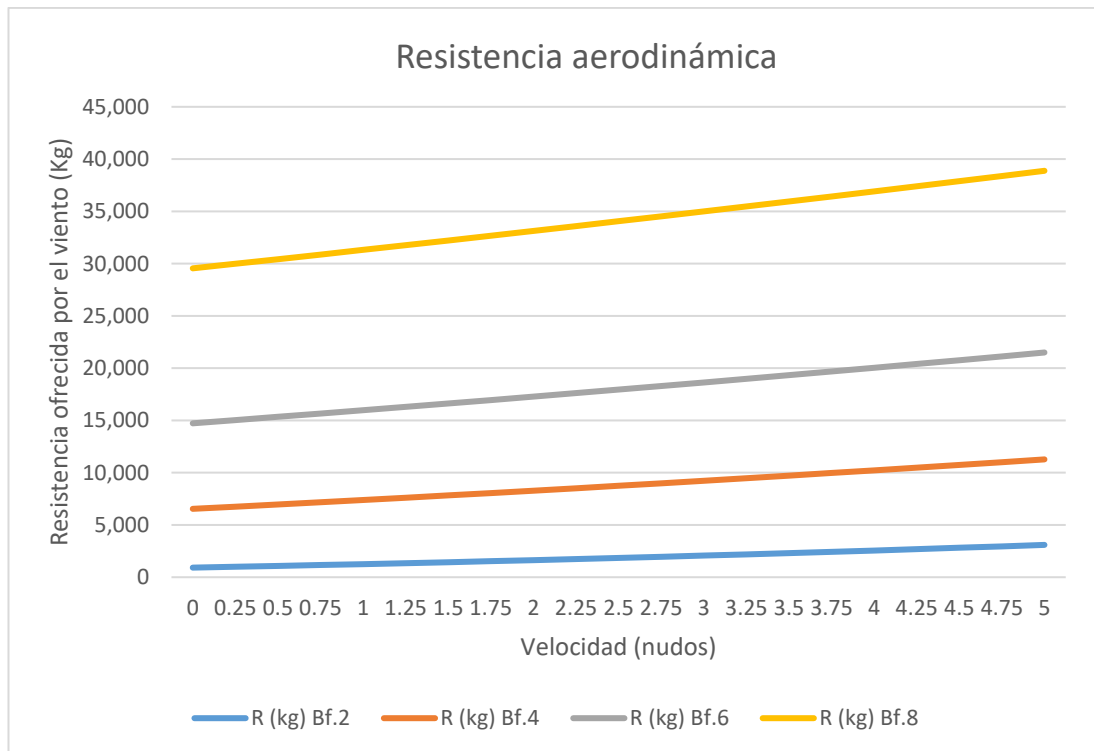
Como podemos ver en la tabla, la resistencia que ofrece el propio remolque es muy baja.

Pasaremos a calcular la resistencia aerodinámica, para lo que tenemos que calcular todas las superficies que afectan al viento aplicando los correspondientes coeficientes debido al tipo de superficie y a la altura de la superficie.

$$R_{\text{aerodinámica}} = \frac{1}{2} \cdot C_x \cdot C_H \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot S_t \cdot V_r^2$$

En el caso de la resistencia aerodinámica se debe tener en cuenta la velocidad del remolque, ya que la velocidad del viento que usaremos para calcular la resistencia es la velocidad relativa.

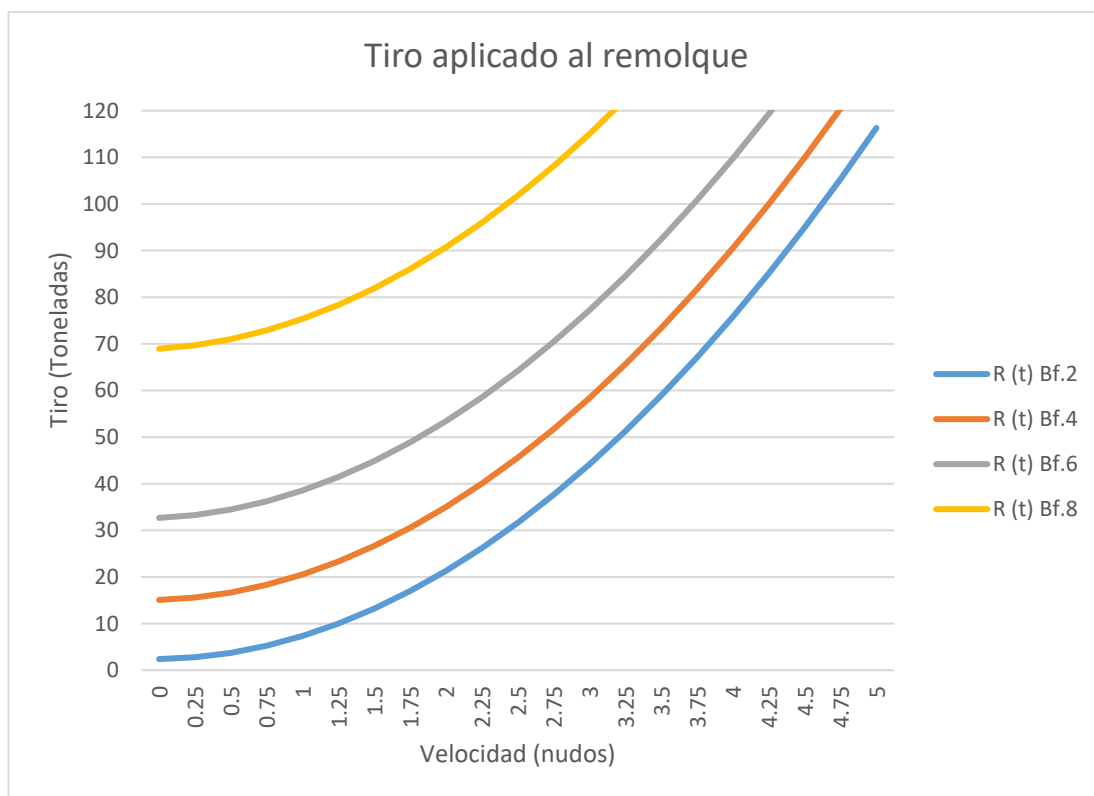
R aerodinámica				
V (kn)	R (kg) Bf.2	R (kg) Bf.4	R (kg) Bf.6	R (kg) Bf.8
0	920	6.544	14.724	29.550
0,25	999	6.750	15.032	29.986
0,5	1.080	6.959	15.344	30.425
0,75	1.165	7.172	15.658	30.868
1	1.253	7.387	15.976	31.314
1,25	1.344	7.606	16.298	31.763
1,5	1.438	7.828	16.622	32.215
1,75	1.535	8.054	16.949	32.670
2	1.636	8.282	17.280	33.129
2,25	1.740	8.514	17.614	33.590
2,5	1.847	8.749	17.951	34.055
2,75	1.957	8.987	18.291	34.523
3	2.071	9.228	18.635	34.995
3,25	2.187	9.472	18.982	35.469
3,5	2.307	9.720	19.331	35.947
3,75	2.430	9.971	19.685	36.428
4	2.556	10.225	20.041	36.912
4,25	2.686	10.482	20.400	37.399
4,5	2.818	10.743	20.763	37.890
4,75	2.954	11.006	21.129	38.383
5	3.093	11.273	21.498	38.880



En la gráfica se observa la variación de la resistencia en función de la velocidad y vemos que cuanto mayor es la fuerza del viento, mayor es el aumento de la resistencia por la velocidad del cajonero.

Ya con esto datos calculados podemos calcular el tiro que vamos a aplicar sobre el remolque, el cual será el que posteriormente usemos para calcular los elementos de remolque que vamos a usar en el remolque, quedando marcadas las casillas el tiro a la velocidad que consideramos para el remolque con los diferentes estados de la mar y el viento presente.

Tiro necesario de remolque (t)				
V (kn)	R (t) Bf.2	R (t) Bf.4	R (t) Bf.6	R (t) Bf.8
0	2,39	15,08	32,67	68,96
0,25	2,77	15,58	33,28	69,69
0,5	3,73	16,67	34,47	71,01
0,75	5,25	18,32	36,22	72,89
1	7,35	20,54	38,55	75,34
1,25	10,00	23,32	41,43	78,35
1,5	13,21	26,66	44,87	81,92
1,75	16,98	30,56	48,87	86,05
2	21,31	35,02	53,43	90,74
2,25	26,19	40,03	58,54	95,98
2,5	31,63	45,59	64,21	101,77
2,75	37,62	51,71	70,43	108,12
3	44,16	58,38	77,20	115,02
3,25	51,26	65,60	84,53	122,47
3,5	58,90	73,37	92,40	130,47
3,75	67,10	81,70	100,83	139,03
4	75,84	90,57	109,80	148,13
4,25	85,14	99,99	119,33	157,78
4,5	94,98	109,96	129,40	167,98
4,75	105,37	120,48	140,02	178,73
5	116,31	131,55	151,19	190,03

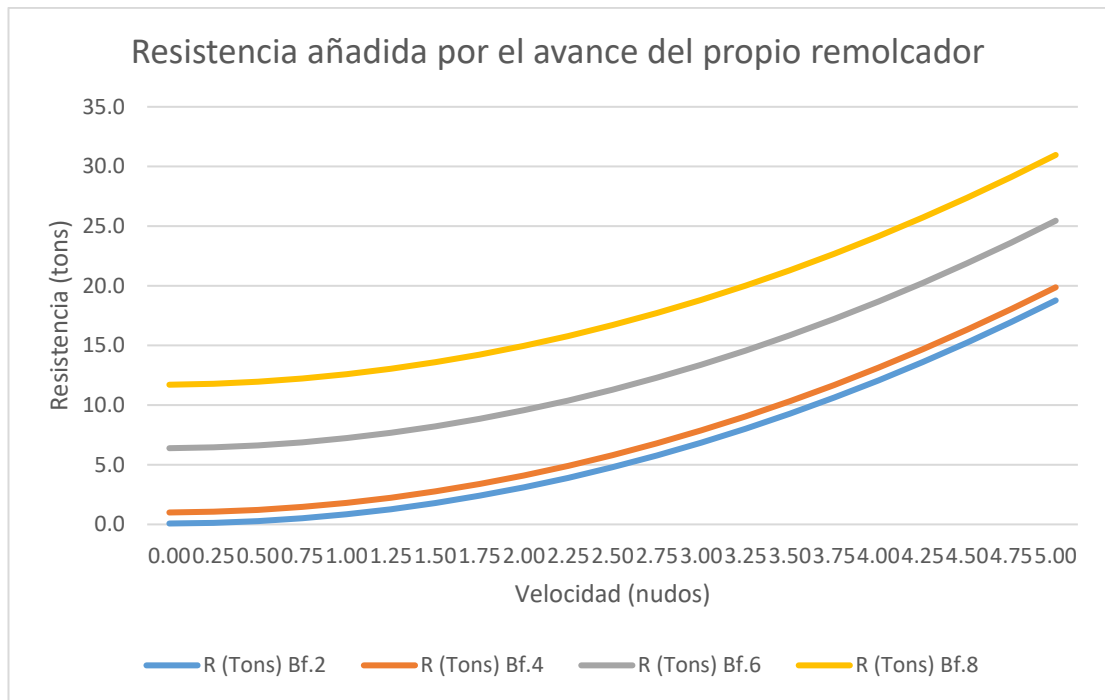


Con estos datos del tiro aplicado en el remolque es con los que tendremos que estudiar y diseñar los elementos remolque a usar, con sus correspondientes cargas de roturas dependiendo del tipo de material que sea, además de valorar los puntos de conexión con el cajonero por si fuera necesario enganchar en más de un punto para que aguantase el tiro correspondiente.

5.2.- Resistencia propia del remolcador

Y finalmente para calcular el tiro necesario del remolcador, habría que sumarle la resistencia que opone el propio remolcador al avance en las diferentes circunstancias. En este caso el cálculo de la resistencia se hace muy similar a la explicada y en este caso ya tenemos una tabla diseñada para este remolcador en las diferentes circunstancias de mar y viento.

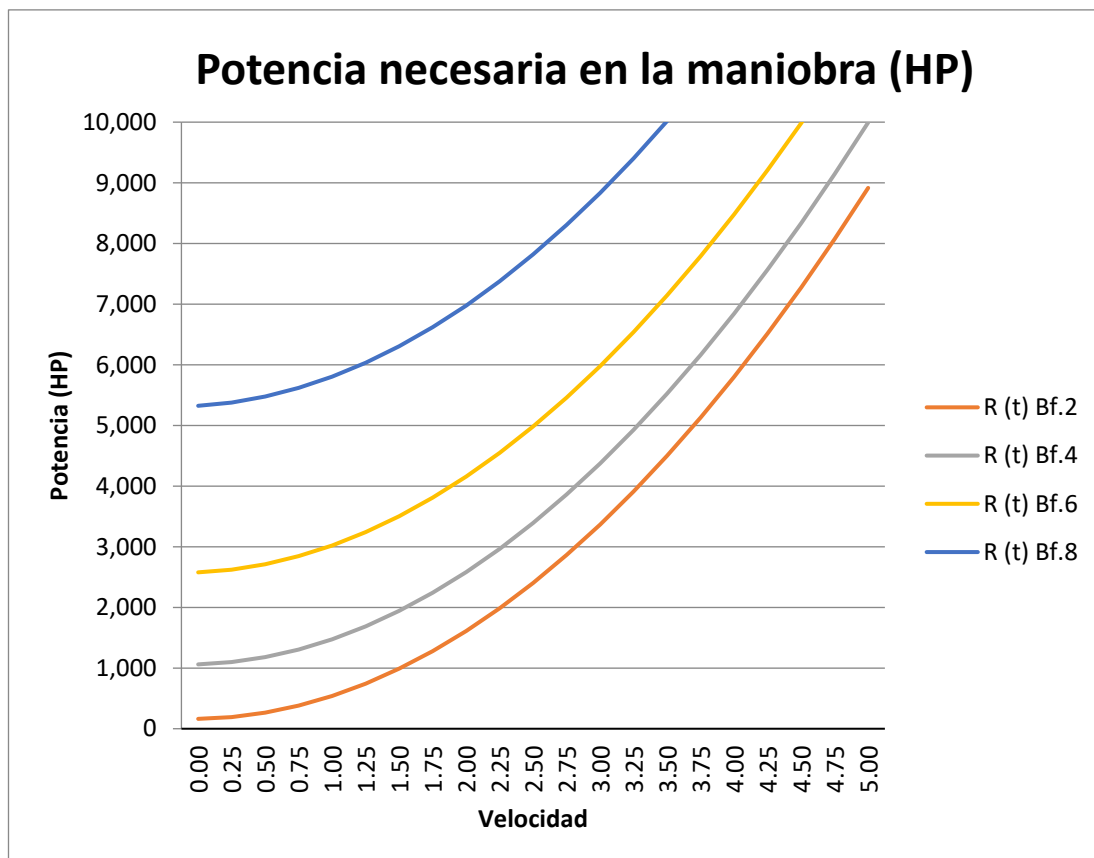
Resistencia añadida del remolcador (t)				
V (kn)	R (Tons) Bf.2	R (Tons) Bf.4	R (Tons) Bf.6	R (Tons) Bf.8
0,00	0,1	1,0	6,4	11,7
0,25	0,1	1,1	6,5	11,8
0,50	0,3	1,2	6,6	12,0
0,75	0,5	1,5	6,9	12,2
1,00	0,8	1,8	7,2	12,6
1,25	1,3	2,2	7,7	13,0
1,50	1,8	2,8	8,2	13,6
1,75	2,4	3,4	8,8	14,2
2,00	3,1	4,1	9,6	15,0
2,25	3,9	4,9	10,4	15,8
2,50	4,8	5,8	11,3	16,7
2,75	5,8	6,8	12,3	17,7
3,00	6,9	7,9	13,4	18,8
3,25	8,0	9,1	14,6	20,0
3,50	9,3	10,3	15,8	21,3
3,75	10,6	11,7	17,2	22,7
4,00	12,1	13,1	18,7	24,2
4,25	13,6	14,7	20,2	25,7
4,50	15,2	16,3	21,9	27,4
4,75	17,0	18,0	23,6	29,1
5,00	18,8	19,9	25,5	31,0



5.3.- Potencia necesaria.

El tiro conjunto del remolcado más la resistencia propia del remolcador nos da el tiro necesario para el remolque; y aplicando sobre ello el rendimiento propulsivo del remolcador dada su potencia obtenemos la siguiente tabla con la potencia necesaria para poder realizar la maniobra de remolque (Se marcan en rojo aquellos valores superiores a la potencia del remolcador indicado necesaria para realizar este remolque):

Potencia necesaria en la maniobra (HP)				
V (kn)	R (t) Bf.2	R (t) Bf.4	R (t) Bf.6	R (t) Bf.8
0,00	163	1061	2578	5324
0,25	191	1098	2623	5378
0,50	264	1180	2712	5476
0,75	381	1306	2845	5618
1,00	541	1475	3021	5804
1,25	744	1687	3241	6032
1,50	990	1942	3504	6304
1,75	1279	2241	3809	6619
2,00	1612	2582	4158	6976
2,25	1986	2966	4549	7377
2,50	2404	3392	4983	7820
2,75	2864	3861	5460	8305
3,00	3367	4373	5979	8833
3,25	3912	4927	6540	9404
3,50	4500	5524	7144	10017
3,75	5130	6163	7791	10673
4,00	5802	6845	8480	11371
4,25	6517	7569	9211	12111
4,50	7274	8335	9985	12894
4,75	8074	9143	10800	13719
5,00	8916	9994	11659	14586



Por todo ello se designará una velocidad de crucero de 3,5 nudos para las condiciones de Beaufort 2, de 3 nudos para Beaufort 4; de 2 nudos para Beaufort 6, y de 0,5 nudos para Beaufort 8.

Potencia necesaria				Tiro
V (kn)	Bf.	Potencia (HP)	% Margen	Toneladas de Tiro aplicadas
3,50	2	4.500	25,01%	59
3,00	4	4.373	27,12%	58
2,00	6	4.158	30,70%	53
0,50	8	5.476	8,73%	71

Con un margen de potencia de tiro en la peor situación de 8,73%.

5.4.- Calculo Catenaria.

Haremos una pequeña tabla con la catenaria posible a los diferentes tiros posibles para tener en cuenta durante la travesía, ya que es muy importante en zonas de poco calado, como el Canal de la Mancha.

$$C = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2 \cdot P/m}{2T}$$

El peso por metro de nuestro cable de remolque de 56mm es de 12,8 kg/m

Calculo catenaria						
Tiro aplicado	Metros de cable	Catenaria	Metros de cable	Catenaria	Metros de cable	Catenaria
5	300	28,8	500	80,0	750	180,0
10	300	14,4	500	40,0	750	90,0
15	300	9,6	500	26,7	750	60,0
20	300	7,2	500	20,0	750	45,0
25	300	5,8	500	16,0	750	36,0
30	300	4,8	500	13,3	750	30,0
35	300	4,1	500	11,4	750	25,7
40	300	3,6	500	10,0	750	22,5
45	300	3,2	500	8,9	750	20,0
50	300	2,9	500	8,0	750	18,0
55	300	2,6	500	7,3	750	16,4
60	300	2,4	500	6,7	750	15,0
65	300	2,2	500	6,2	750	13,8
70	300	2,1	500	5,7	750	12,9
75	300	1,9	500	5,3	750	12,0
80	300	1,8	500	5,0	750	11,3
85	300	1,7	500	4,7	750	10,6

5.5.- Tren de remolque.

El remolque de este cajonero es muy particular porque debido a las exigencias del seguro deberá ir un remolcador tirando por la proa y otro remolcador de maniobra en popa, el cual nos ayudara a la hora de entrar y salir de los puertos y a su vez cumple como remolque de emergencia, por lo que no sería necesario instalarse el remolque de fortuna, pero aun así el seguro exigió la instalación de dos remolques de fortuna, como se verá más adelante.

Tiro de los remolcadores = 90,6 y 91 Tons respetivamente

Carga de rotura del cable principal del remolcador de proa= >240T

Carga de rotura de la estacha de conexión del remolcador de popa => 272 T.

Carga de rotura del estrecher =272T

Los grilletes con los que se unirá al material provisto por el cajonero serán de 85 T de carga de trabajo

El material provisto por el cajonero será:

Cuatro cadenas para el remolcador de proa y dos cadenas para el remolcador de popa que forman un pie de gallo de 8 metros de longitud y 44mm, con una Carga de rotura de 156T. Dichas cadenas estarán hechas firmes a un Smith bracket y un cáncamo por cada banda, con un SWL mayor al tiro aplicado sobre ellos.

Las cadenas llevan grilletes de 220 toneladas de carga de rotura que se une a un grillete de 340 toneladas de carga de rotura, unido a una galga de acero de 47 metros y 60 mm con una carga de rotura de 255 toneladas, y esta ira unida al triángulo de 120 toneladas de carga de trabajo y 480 toneladas de carga de rotura del remolcador.

A este triángulo irá conexionado el estrecher del remolcador principal mediante grillete de 85 toneladas de carga de trabajo y después al cable principal igualmente con conexión de grillete de 85 tons. de carga de trabajo.

Tiro máximo previsto= 71 T

Tren de remolque principal					Carga de rotura mínima necesaria (t)					
Elemento	Tipo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Carga de rotura certificada (t)	Ponderación tipo elemento	Bf. 2	Bf. 4	Bf. 6	Bf. 8	Cumple con el MBL
Línea principal	Cable	750	56	240	1	154	154	146	169	SI
Strecher	Cabo	50	128	272	1,5	232	231	219	253	SI
Triángulo de remolque	Triangulo			480	1,5	232	231	219	253	SI
Grillete (2x)	Grilletes			425	1,5	232	231	219	253	SI
Grillete (2x)	Grilletes			480	1,5	232	231	219	253	SI
Grillete (4x)	Grilletes			340	1,5	232	231	219	253	SI
Patas de gallo (2+2)	Cadenas	15	52	312	1	154	154	146	169	SI
Penants	Cable	10	60	255	1	154	154	146	169	SI

Aplicando la ponderación por cada tipo de elemento a utilizar vemos que todos los elementos propuestos para este remolque cumplen con los requisitos establecidos según su carga de rotura.

Hacemos en cálculo de la longitud mínima de remolque necesaria según la fórmula de la IMO y nos da 533 metros de remolque, aunque el remolque mínimo para este tipo de remolques es 650 metros, pero aun así cumplimos con el material propuesto para el remolque ya que tan solo la longitud de nuestro cable de remolque es superior a lo que habría que sumar la longitud del estrecher, el penant y las cadenas.

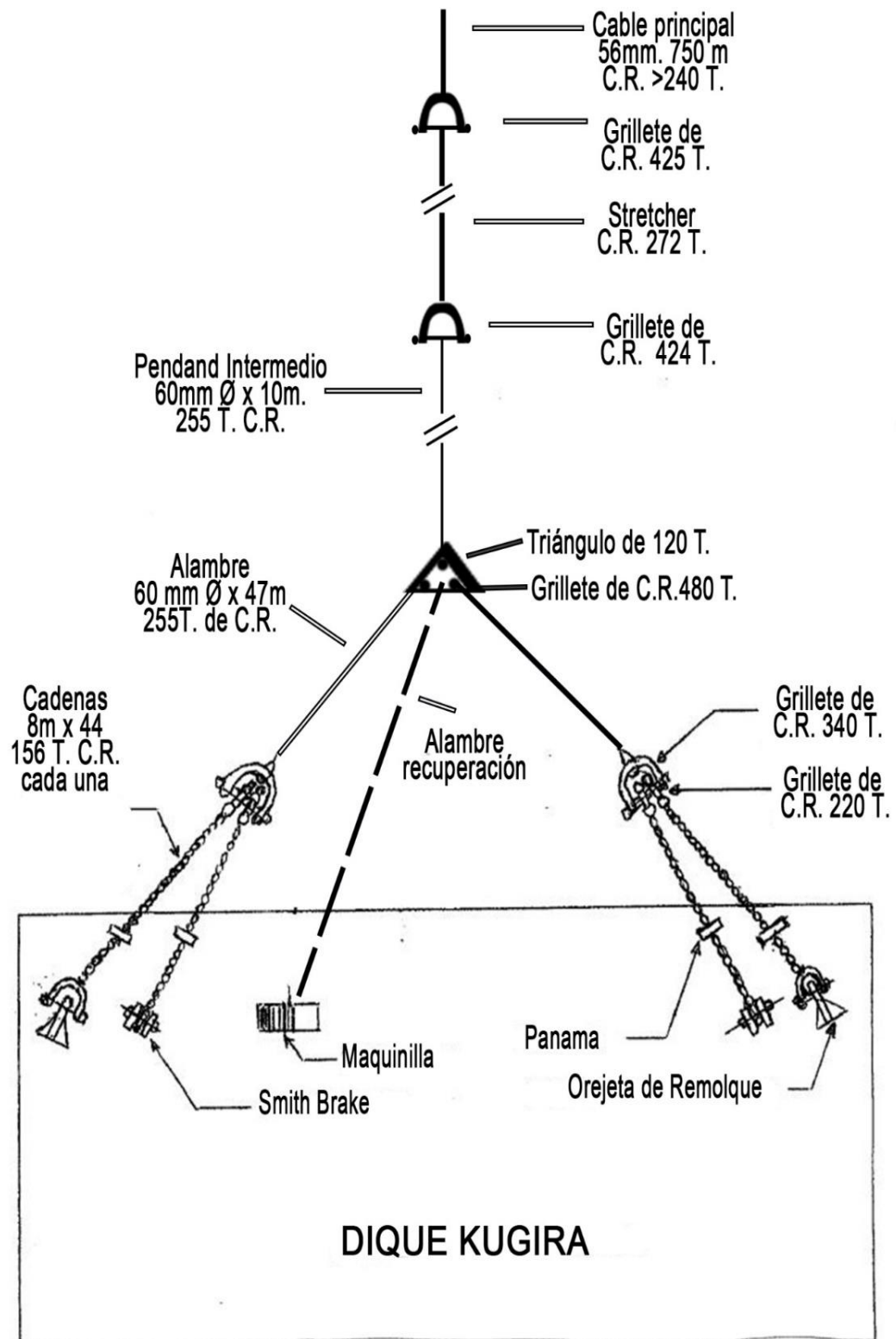
$$L = (BP/BL) \cdot 1800 \text{ m}$$

Longitud mínima del remolque
533

Haremos una pequeña tabla con la catenaria posible a los diferentes tiros posibles para tener en cuenta durante la travesía, ya que es muy importante en zonas de poco calado, como el Canal de la Mancha.

Calculo catenaria						
Tiro aplicado	Metros de cable	Catenaria	Metros de cable	Catenaria	Metros de cable	Catenaria
5	300	28,8	500	80,0	750	180,0
10	300	14,4	500	40,0	750	90,0
15	300	9,6	500	26,7	750	60,0
20	300	7,2	500	20,0	750	45,0
25	300	5,8	500	16,0	750	36,0
30	300	4,8	500	13,3	750	30,0
35	300	4,1	500	11,4	750	25,7
40	300	3,6	500	10,0	750	22,5
45	300	3,2	500	8,9	750	20,0
50	300	2,9	500	8,0	750	18,0
55	300	2,6	500	7,3	750	16,4
60	300	2,4	500	6,7	750	15,0
65	300	2,2	500	6,2	750	13,8
70	300	2,1	500	5,7	750	12,9
75	300	1,9	500	5,3	750	12,0
80	300	1,8	500	5,0	750	11,3
85	300	1,7	500	4,7	750	10,6

Esquema de enganche del Kugira del remolcador principal de tiro.



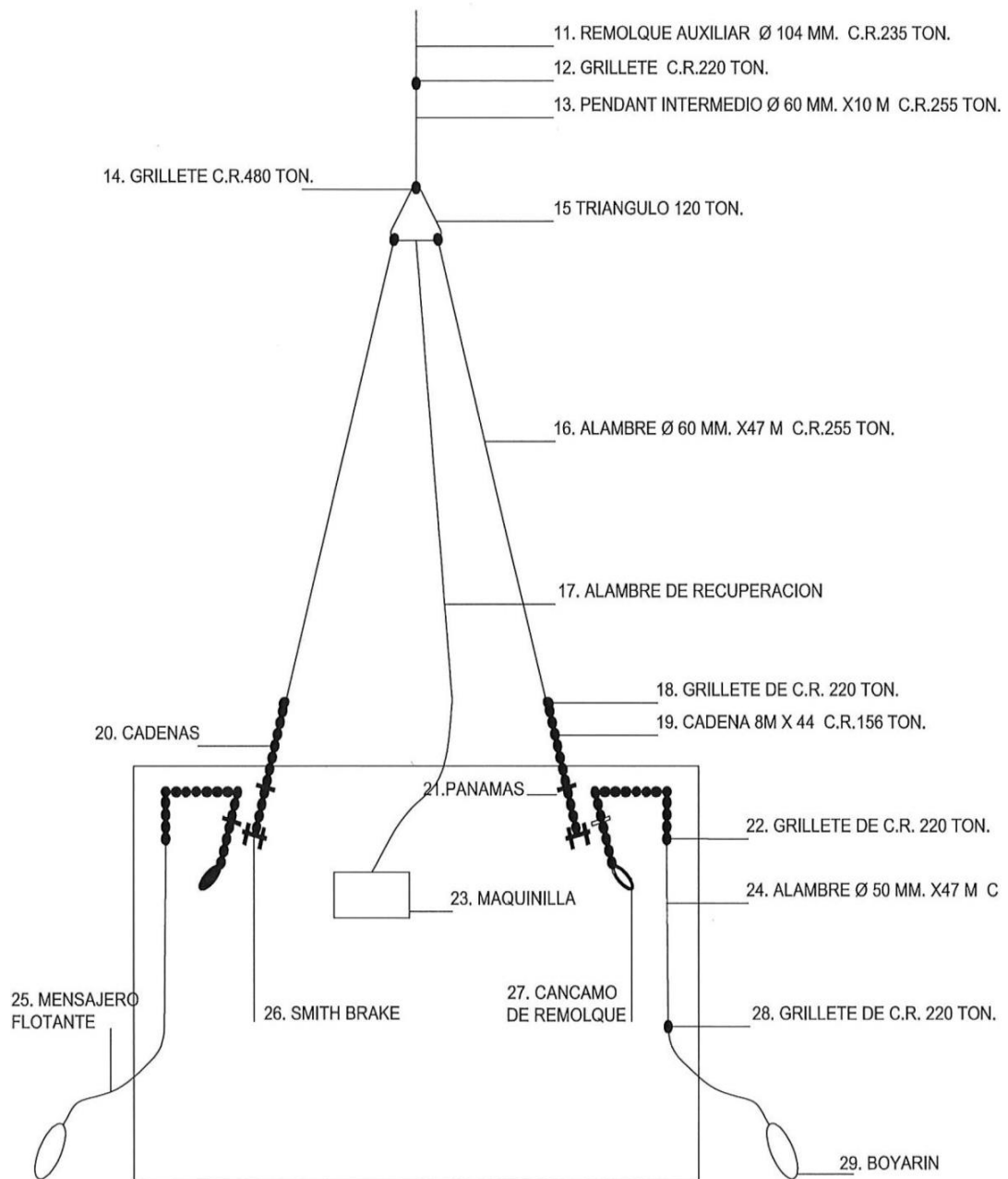
Características del tren de remolque auxiliar o de gobierno

Para controlar el remolque se acompañará de un remolcador a Popa conectado mediante pata de gallo de similares características a la del remolque principal, formada por dos cadenas de 8 metros de longitud, unidas por grilletes de 220 Tons de Carga de Rotura, con una galga de acero de 60 mm de diámetro y 225 Tons de Carga de Rotura.

REMOLQUE DE EMERGENCIA

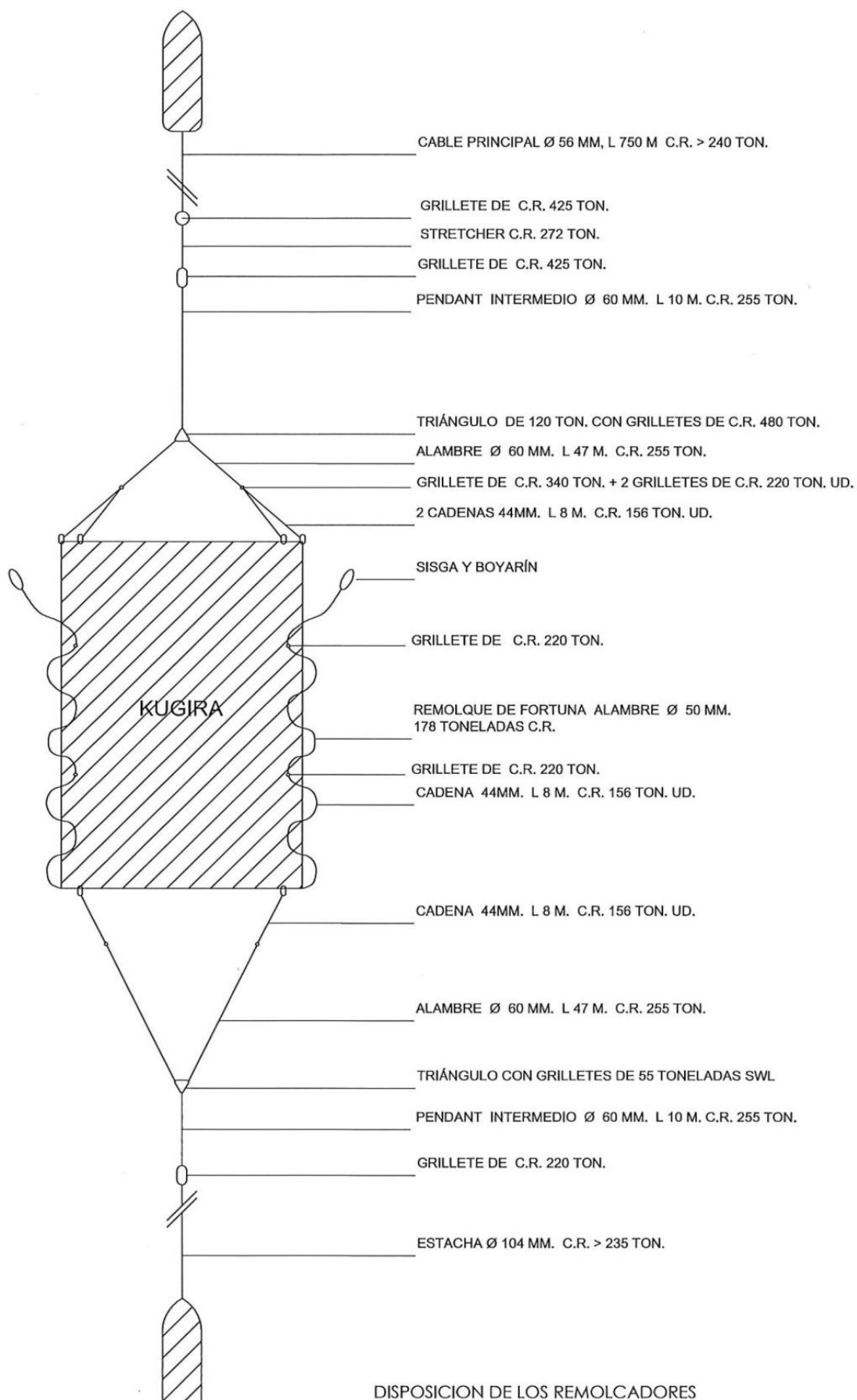
En caso de fallo del tren de remolque principal, como alternativa, se dispone de un juego de doble línea de emergencia (Babor y Estribor) adujadas en cada costado; formadas por un juego de cadena y cable, cada uno igual a cada una de las patas de gallo de popa, rematadas en chicote de 20 mm de diámetro de polipropileno unida a un boyarín, que hace de mensajero para poder cobrar la línea de emergencia en caso necesario.

Esquema de enganche del Kugira del remolcador de gobierno y remolque de fortuna.



02 POPA

DISPOSICION LINEAS REMOLQUE AUXILIAR Y EMERGENCIA



DISPOSICION DE LOS REMOLCADORES

5.6.-Ruta de navegación

La ruta y velocidad en cada momento serán las que el Capitán considere adecuadas de acuerdo con las previsiones meteorológicas y las condiciones de la mar y el viento.

Se estudiará la mejor ruta a realizar teniendo en cuentas vientos y corrientes predominantes, así como la cercanía de puertos de refugio.

5.6.1.-Puertos de refugio

Se intentará disponer de puertos de refugio con una distancia máxima de 36 h., se establecerá los puertos de refugio actos en nuestra ruta teniendo en cuenta la entrada y los muelles disponibles, así como su calado. También podemos tener en cuenta como refugio determinadas zonas que estén al abrigo del mar.

En caso de predicciones meteorológicas adversas superiores a Bf 4, y siempre que el Capitán del remolcador lo estime conveniente, se procederá al puerto de refugio más cercano o área de refugio. También debemos acudir a puerto de refugio si nos encontramos con tiempo presente superior a Bf 5.

5.7.-Luces y señales reglamentarias

Las luces reglamentarias de remolque que llevará la embarcación remolcada serán: roja, en el costado de Babor y verde en el de Estribor, más una luz blanca de alcance, con sus respectivas pantallas según el reglamento de Prevención de Abordajes de I.M.O. El remolcador hará lo propio con sus luces de navegación para indicar que está remolcando con capacidad de maniobra restringida y con remolque superior a 200 metros.

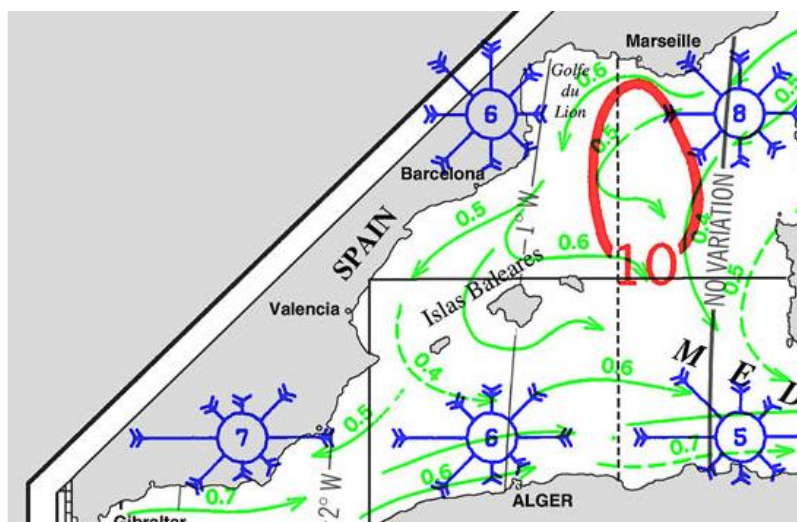
Se colocarán luces led con los paneles solares correspondientes que nos darán una autonomía suficiente para toda la ruta de navegación.

Como señal visible diurna se colocará en el palo de señales una marca bicónica negra que se vea sin interrupción en un arco de horizonte de 360º en el cajonero y en el remolcador.

5.8.- Análisis meteorológico

Antes de la salida se dispondrá de una información meteorológica de 72 horas siguientes a la salida del remolque de puerto.

A modo ilustrativo, se adjunta los valores medios de los últimos años reflejados en el Pilot Chart para el presente mes.



Antes de la salida, se obtendrán los partes meteorológicos concretos y lo más exactos posibles de las zonas de tránsito para decidir la conveniencia o no de realizar la navegación.

5.9.- Precauciones contra la inundación del remolcado

El Objeto remolcado deberá tener en todo momento una adecuada estabilidad a buque intacto en todas las condiciones esperadas durante el viaje.

Los Peritos de Garantías Marítimas, nominados por la Cía. Aseguradora, certificarán la aptitud del objeto remolcado y de los remolcadores para realizar el viaje, antes del enganche.

El objeto remolcado debe ser evaluado y provisto de una confirmación de su aptitud para ser remolcado.

El estudio de Estabilidad del remolcado en la condición de remolque se adjunta en los ANEXO.

Se comprobará la estanqueidad del artefacto remolcado. Para ello, se comprobará que cualquier apertura del casco se encuentra cerrada.

Todos los elementos y objetos pesados a bordo susceptibles de desplazarse deben de estar arranchados y trincados convenientemente.

Los frentes de Proa y Popa del Dique Flotante llevarán pintados unas bandas de color blanco, de anchura y longitud suficiente, en las proximidades de la línea de flotación, para poder controlar desde el remolcador, en todo momento el trimado y las posibles inundaciones de día, y de noche mediante el foco de búsqueda.

Se dispondrá de escalas en ambos costados del remolcado para acceder a la cubierta de este en caso de emergencia.

6.- CONCLUSIONES

Una vez realizado el Excel con todas las fórmulas necesarias para el cálculo de los valores de resistencia necesarios para este estudio, tan solo será necesario introducir los valores que normalmente son aportados por los armadores. Los valores relativos a vientos, mares y corrientes los sacaremos de los Pilot chart de la ruta a realizar. Con los datos introducidos en el Excel podemos calcular rápidamente el tiro y potencia necesaria para el remolque a las diferentes velocidades y Beaufort, con lo que decidiremos la velocidad a la que se realizara el servicio teniendo en cuenta los puntos donde podemos hacer firme el remolque así como el material que podemos usar (en muchas ocasiones los puntos de fijación del remolque no son acordes al tiro del remolcador por lo que habrá que ajustar el estudio a esto). Una vez determinado la velocidad del remolque con los diferentes tiros resultantes en los diferentes estados meteorológicos diseñaremos el esquema de enganche con el material adecuado a ese Tiro.

Bajo mi propia experiencia estos cálculos están sobredimensionados alrededor de un 40 % por lo cual, si el cálculo nos da para remolcarlo, no deberíamos tener ningún problema en el remolque.

Durante el remolque de este Cajonero desde Barcelona a Cádiz pudimos observar mediante las células de carga de las que disponen las maquinillas de remolque que los cálculos son bastante aproximados a la realidad (siempre con un margen de seguridad de alrededor de un 40%) y pudimos observar que durante el paso del Estrecho debido a las fuertes corrientes de entrada la velocidad del remolque llegó a ser prácticamente 0, hasta que comenzó a disminuir la corriente en contra, momento en el que comenzó a incrementar nuestra velocidad y pasamos el Estrecho.

Durante la travesía, tuvimos partes meteorológicos muy desfavorables, lo que nos hizo desviarnos de nuestra ruta para intentar entrar en puerto de refugio, pero debido a los fuertes vientos anunciados nos prohibieron la entrada en puerto por las características del cajonero, sufriendo vientos de hasta 70 nudos pero pudiendo aguantar el cajonero sin ningún problema poniéndonos proa al viento hasta que amaino el temporal y pudimos seguir viaje hasta Cádiz, donde finalizó nuestro remolque.

7. - BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Shipowners, "LOSS PREVENTION Tugs and Tows-A Practical Safety and Operational Guide," pp. 1–90, 2015, Accessed: Jul. 07, 2021. [Online]. Available: www.ukho.gov.uk
- [2] C. López, "HIDRODINÁMICA MARINA II (Resistencia." Accessed: Jul. 14, 2021. [Online]. Available: https://www.academia.edu/31765529/HIDRODIN%C3%81MICA_MARINA_II_Resistencia
- [3] "Resistencia al avance del buque." <https://es.slideshare.net/franciscomaestre/resistencia-al-avance-del-buque> (accessed Jul. 06, 2021).
- [4] Mario. Baselga Rodríguez and Gráf. Salesianas], "El remolque en la mar o remolque transporte," 1981.
- [5] L. Willibaldo René, "Estudio experimental de Resistencia al avance en barcas menores," Valdivia, 2018.
- [6] A. Bureau of Shipping, " *Rules for Building and Classing Floating Production Installations*", 2021.
- [7] "Guidelines For safe Ocean Towing," *MSC/Circ.884*, Dec. 21, 1998. <https://maddenmaritime.files.wordpress.com/2014/02/imo-guidelines-for-safe-ocean-towing.pdf> (accessed Aug. 16, 2021).
- [8] "GUIDELINES FOR THE APPROVAL OF TOWING VESSELS", Accessed: Jul. 07, 2021. [Online]. Available: <http://www.dnvgl.com/>
- [9] Rolf Himar Hansen, "DNV towing Recommendations," 2005. <https://www.tugmasters.org/wp-content/uploads/2014/07/Towingrecomends.pdf> (accessed Aug. 16, 2021).
- [10] landerson, "TECHNICAL POLICY BOARD GUIDELINES FOR MARINE TRANSPORTATIONS," 2010. [Online]. Available: www.gl-nobledenton.com
- [11] Bureau Veritas, " *Towage at sea of vessels or floating unit.*" 1986.

8.- ANEXOS A INCORPORAR AL ESTUDIO DE REMOLQUE

Se aportarán los siguientes anexos para incorporar al estudio:

Certificado de estabilidad del KUGIRA

Estudio de estabilidad en las condiciones de remolque

Estudio de estabilidad por viento.

Certificado de tiro de los remolcadores.

Certificados de navegabilidad de los remolcadores y del cajonero.

Certificado de las luces de navegación

Certificado de todo el material de remolque a emplear (en el cual vendrá la carga de rotura de este o el SWL de este y el coef. de seguridad)

Estudio de trincaje de todo el material que ira en el cajonero.

Se adjuntan a continuación diferentes Anexos a modo de ejemplo.

ACTA DE PRUEBAS DE ESTABILIDAD

Datos relativos al buque:

Nombre del buque	Distintivo	Puerto de matrícula	Matrícula	Tipo del buque	Material del casco
KUGIRA	EBYA	<u>CADIZ</u>	<u>5/4/2001</u>	<u>1</u>	<u>ACERO</u>

En CADIZ, el día 06/10/2015 y en presencia del Funcionario autorizado, se procedió a efectuar las pruebas de estabilidad del buque, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Reconocimiento de Buques y Embarcaciones Mercantes.

Las características del buque son las siguientes:

Eslora entre perpendiculares	74,00m.
Manga (CMD)	49m.
Puntal de Construcción / Cbta. Superior	5,50/m.
Espesor de cubierta, incluido el espesor real del forro en la vertical del Franco Bordo:	17mm.
Calado de máxima carga 4,422 m. para un Franco Bordo de Verano	1.078mm.
Arqueo total	5.593GT

PRUEBA DE ESTABILIDAD

Entidad que realizó la experiencia NAVANTIA REPARACIONES

Lugar de la experiencia CÁDIZ

Condiciones de carga del buque en el experiencia:

EN ROSCA; PESOS AJENOS A BORDO: 3.532,4 T

Calado a proa 3,37m. Calado a popa 3,47m. Calado medio 3,42m.

Diferencia de calados 0,10 m. Desplazamiento 12.335Tm

Pesos utilizados y su situación

VER ANEXO CORRESPONDIENTE EN EL LIBRO DE ESTABILIDAD

Distancia media de traslación de los pesos m.
 Momento escorante = x = 2.726,16 toneladas x metros
 Longitud de cada péndulo: 1º 6,62 m.; 2º 6,60 m.; 3º m.
 Desviaciones medidas: 1º mm.; 2º mm.; 3º mm.
 Altura metacéntrica (GM): 50,01 m.
 Altura del metacentro sobre la base para la flotación de la experiencia: 62,36 m.
 Ordenada del centro de gravedad sobre la base en la experiencia: 11,66 m.
 Ordenada del centro de gravedad sobre la base en rosca (KG): 14,950 m.
 Abcisa del Centro de Gravedad en Rosca, desde la p.p. /XG): 36,658 m.
 Desplazamiento en rosca: 8.803 toneladas métricas

NOTA.—Los calados que se citan en el acta de estabilidad son calados reales en las marcas, los cuales están referidos al canto bajo de la quilla, siendo necesario restar 15mm. para obtener los de trazado.

ESTABILIDAD EN LAS DISTINTAS CONDICIONES DE CARGA

DIQUE EN LASTRE CON EL 100% DE COMBUSTIBLE Y PERTRECHOS

Desplazamiento 13.948,4 Tm Calados: proa 3,860 m.; popa 3,862 m
 Ordenada del Centro de gravedad 10,552 m.
 Altura metacéntrica corregida 43,448 m.
 Brazo máximo de estabilidad estática 8,08 m., para 25 ° de inclinación.
 Angulo de anulación del brazo del par de estabilidad estática 50°
 Angulo de inundación de las aberturas °
 Brazos de estabilidad dinámica: a 30° 3,341 m x rad.; a 40° 4,729 m x rad.

CONDICIÓN DE CARGA PARA MÁXIMO CALADO / CONDICIÓN DE REMOLQUE

Desplazamiento 16.036,2 Tm Calados: proa 4,422 m.; popa 4,422 m
 Ordenada del Centro de gravedad 9,398 m.
 Altura metacéntrica corregida 38,537 m.
 Brazo máximo de estabilidad estática 8,774 m., para 47,7 ° de inclinación.
 Angulo de anulación del brazo del par de estabilidad estática 50°
 Angulo de inundación de las aberturas °
 Brazos de estabilidad dinámica: a 30° 2,897 m x rad.; a 40° 4,338 m x rad.

Desplazamiento Tm Calados: proa m.; popa m
 Ordenada del Centro de gravedad m.
 Altura metacéntrica corregida m.
 Brazo máximo de estabilidad estática m., para ° de inclinación.
 Angulo de anulación del brazo del par de estabilidad estática °
 Angulo de inundación de las aberturas °
 Brazos de estabilidad dinámica: a 30° m x rad.; a ° m x rad.

Desplazamiento Tm Calados: proa m.; popa m
 Ordenada del Centro de gravedad m.
 Altura metacéntrica corregida m.
 Brazo máximo de estabilidad estática m., para ° de inclinación.
 Angulo de anulación del brazo del par de estabilidad estática °
 Angulo de inundación de las aberturas °
 Brazos de estabilidad dinámica: a 30° m x rad.; a ° m x rad.

Desplazamiento Tm Calados: proa m.; popa m
 Ordenada del Centro de gravedad m.
 Altura metacéntrica corregida m.
 Brazo máximo de estabilidad estática m., para ° de inclinación.
 Angulo de anulación del brazo del par de estabilidad estática °
 Angulo de inundación de las aberturas °
 Brazos de estabilidad dinámica: a 30° m x rad.; a ° m x rad.

OBSERVACIONES

Las condiciones de carga que se han considerado son aquellas que están relacionadas con la condición de "buque" de dicho artefacto. Cualquier otra condición derivada de la operativa propia del dique es ajena a este estudio.

Y para que conste, se expide la presente Acta por cuadruplicado en CADIZ a 08/04/2016

APROBADA EL ACTA

MADRID a

29 ABR. 2016



EL SUBDIRECTOR GENERAL DE SEGURIDAD, CONTAMINACIÓN E INSPECCIÓN MAR...
 VÍCTOR JIMÉNEZ FERNÁNDEZ

El Funcionario autorizado,
 ANGEL M GARCÍA

ESTABILIDAD

	peso	Z _G c.de g. s/L.Base	M _V momento Vertical	X _G c. g. long la Maestra	M _L momento Longitud.	Y _G c g transv Resp/LC	M _T momento Transv.	r * Inercia m ² /mT
TK. nº 1 WBT (P / Bor)			0,00		0,00		0	
TK. nº 1 WBT (S - Eor)			0,00		0,00		0	
TK. nº 2 WBT (P / Bor)			0,00		0,00		0	
TK. nº 2 WBT (S - Eor)			0,00		0,00		0	
TK. nº 3 WBT (P / Bor)		0,60	0,00	6,00	0,00	18,25	0	2.002
TK. nº 3 WBT (C P / C Bor)	800,00	2,75	2200,00	6,00	4.800,00	6,00	4800	
TK. nº 3 WBT (C S / C Eor)	800,00	2,75	2200,00	6,00	4.800,00	-6,00	-4800	1.771
TK. nº 3 WBT (S - Eor)		0,75	0,00	6,00	0,00	-18,25	0	
TK. nº 4 WBT (P / Bor)	180,00	0,60	108,00	-6,00	-1.080,00	18,25	3285	0
TK. nº 4 WBT (C P / C Bor)	800,00	2,75	2200,00	-6,00	-4.800,00	6,00	4800	1.771
TK. nº 4 WBT (C S / C Eor)	800,00	2,75	2200,00	-6,00	-4.800,00	-6,00	-4800	1.771
TK. nº 4 WBT (S - Eor)	214,00	0,73	155,15	-6,00	-1.284,00	-18,25	-3905,5	2.002
TK. nº 5 WBT (P / Bor)	176,00	1,61	283,36	-18,00	-3.168,00	15,50	2728	2.002
TK. nº 5 WBT (S - Eor)	306,00	1,20	367,20	-18,00	-5.508,00	-18,30	-5599,8	2.002
TK. nº 6 WBT (P / Bor)			0,00		0,00		0	
TK. nº 6 WBT (S - Eor)			0,00		0,00		0	
Combustible	25,00	28,68	717,00	-14,69	-367,25	-22,75	-568,75	
④ Lastre residual	406,00	13,88	5635,28	-8,23	-3.342,19			
Pontón en cubierta	560,00	7,27	4071,20	0,00	0,00	0,00	0,00	
Encofrado sobre Pontón	350,00	9,36	3274,25	0,00	0,00	0,00	0,00	
④ Repuestos y Pertrechos	270,50	34,05	9211,34	-3,96	-1.071,54	0,42	112,258	
PESO MUERTO	5.687,50	5,736	32.622,784	-2,782	-15.820,98	-0,694	-3.948,79	13.321
BUQUE EN ROSCA	8.803,00	14,950	131.595,000	0,342	3.010,63	0,579	5.094,24	
DESPLAZAMIENTO	14.490,50	11,333	164.217,784	-0,884	-12.810,35	0,079	1.145,443	

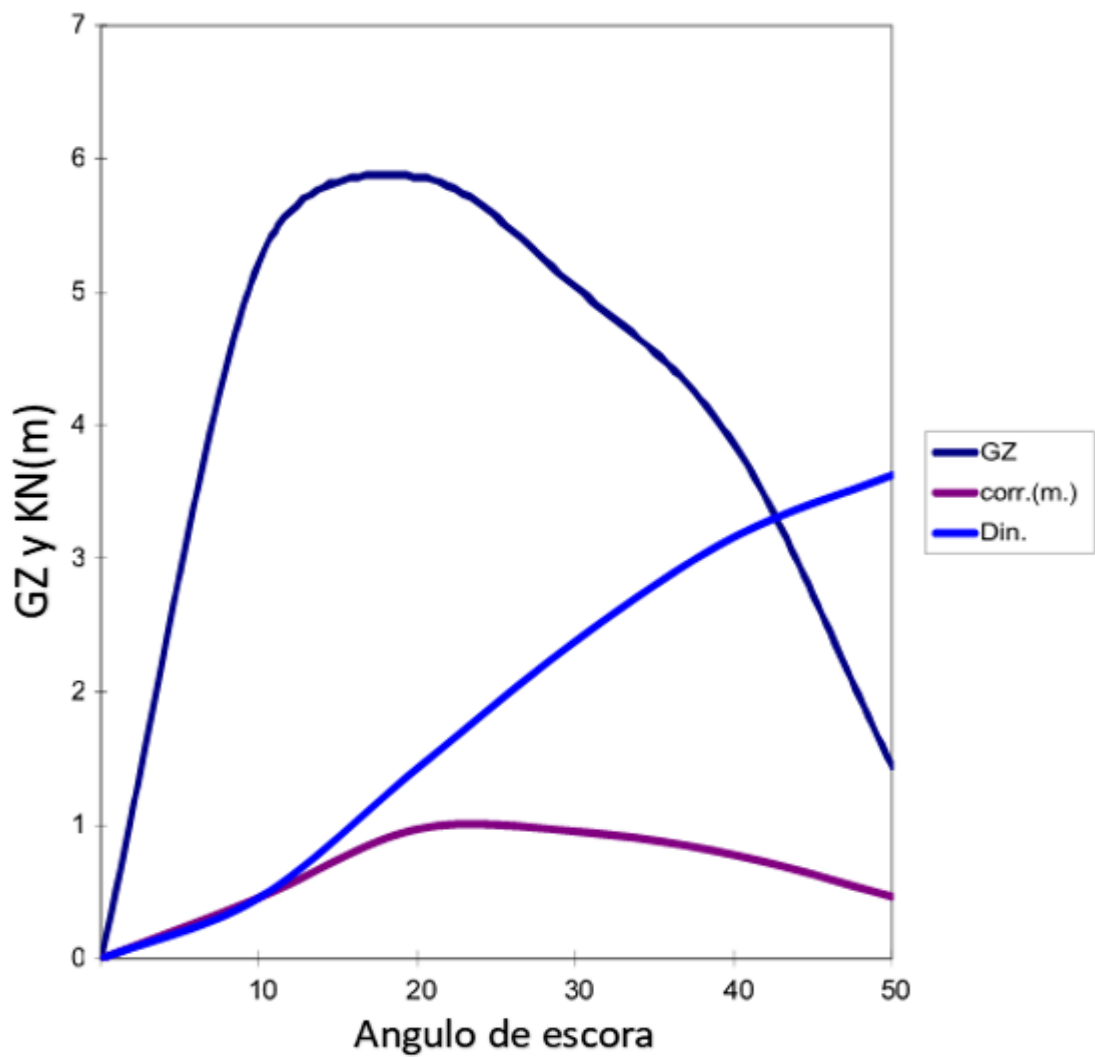
ESTABILIDAD		TRIMADO		CALADOS	
Calado de hidrostát.	4,081	C.de G. Longit.	-0,884	C. Flot. Longitudinal	0,143
KM transversal	54,286	C.de C. Longit.	0,011	Calado Popa s/L.B.	4,350
KG	11,333	Dist. entre Centros	0,895	Calado Proa s/L.B.	3,809
GM	42,953	M.C.A. 1 cm.	239,57	C. Popa canto bajo q.	4,370
Corrección por S.L.	0,919	Trimado (m.)	0,541	C. Proa canto bajo q.	3,829
G.M. corregido	42,034	Eslora pp (m.)	74,00	C. Popa Marcas	4,256
	> 0,35		0,73%	C. Proa Marcas	3,905
				Calado Medio s/L. B.	4,079
				Calado Medio bajo Q	4,099

ESTABILIDAD ESTÁTICA						
q (°)	KN (m)	SEN q	KGxSen q	GZ (m)	corr.s/l.	corr. trim. GZ corr.(m.)
10	7,970	0,1736	1,9679	6,0019	0,2554	5,7465
20	11,275	0,3420	3,8760	7,3991	0,5281	6,8710
30	13,060	0,5000	5,6664	7,3935	0,8883	6,5052
40	14,103	0,6428	7,2846	6,8181	1,0705	5,7476
50	13,631	0,7660	8,6814	4,9494	1,2629	3,6865

Brazo máximo de estabilidad estática **5,9119** m. para 20 grados

ESTABILIDAD DINÁMICA						
q (°)	GZ corr.(m.)	semisuma GZ (s)	Radianes	Din. parcial	Dinám. total	
10	5,746	2,8732	0,1746	0,5017	0,5017	
20	6,871	6,3087	0,1746	1,1015	1,6032	
30	6,505	6,6881	0,1746	1,1677	2,7709	0,055
40	5,748	6,1264	0,1746	1,0697	3,8406	0,03
50	3,686	4,7170	0,1746	0,8236	4,6642	0,09

Estabilidad



ESTABILIDAD POR VIENTO

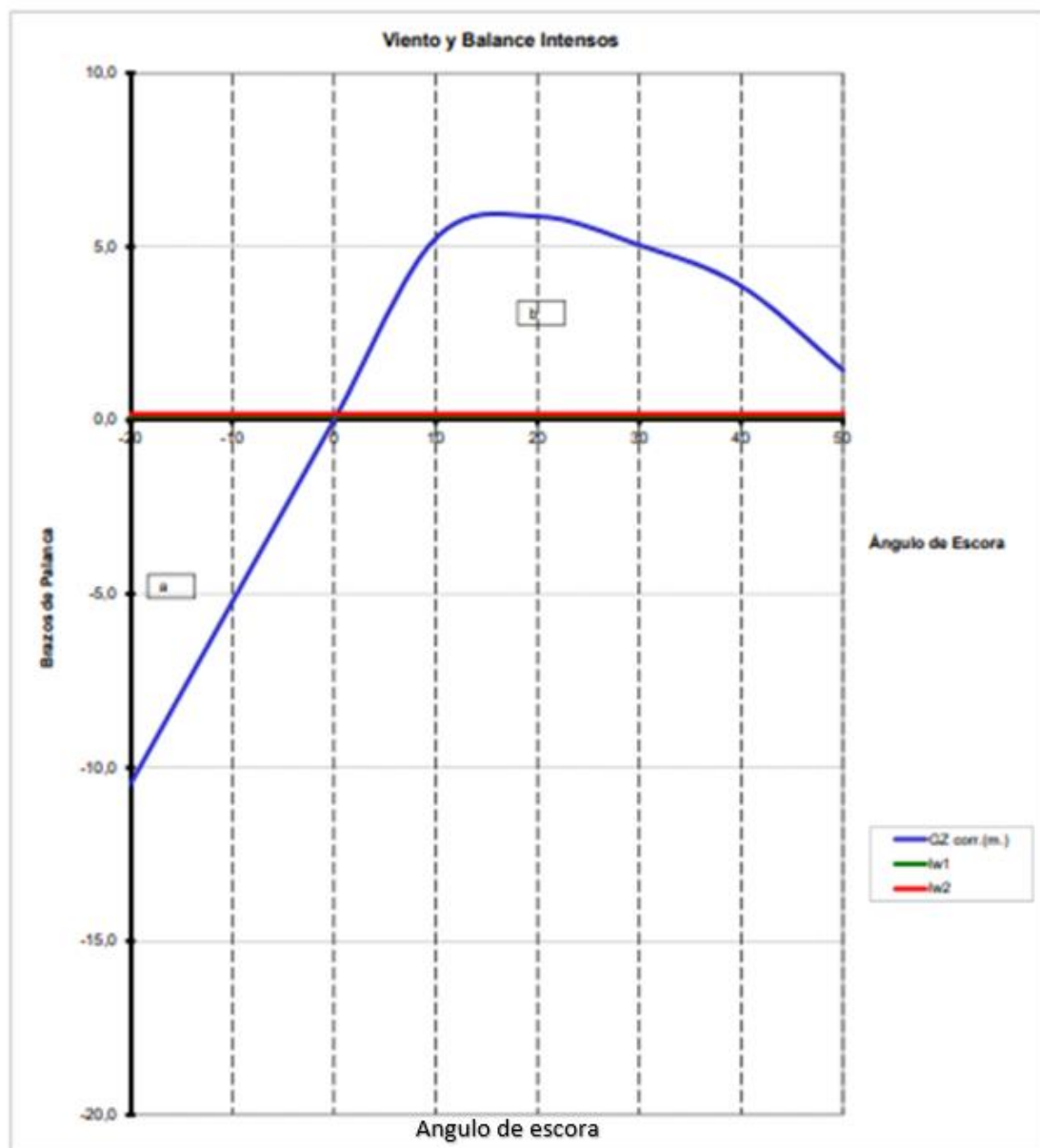
Dique cajonero "RUGERA"

Datos generales del remolcado

		L=	77,40 m
		B=	49,00 m
		Altura de Superestructura =	28,50 m
		Longitud de Superestructura =	68,00 m
		Altura de la Celosía =	28,00 m
		Longitud de la Celosía =	68,00 m
		d=	4,10 m
		GM=	39,11 m
		P=	504 N/m ²
		A=	1944,8 m ²
		z=	18,10 m
		D=	14.490,50 T
		g=	9,81 m/s ²
		A x z =	35196,4
		lw ₁ =P x A x z/1000 x g x D	0,12
		lw ₂ = 1,5 x lw ₁	0,19
		k=	0,7 de las tablas
B/d=	11,95	x ₁ =	0,8 de las tablas
Cb=	1	x ₂ =	1 de las tablas
		OG=	10,15 m
		r = 0,73 + (OG/d) =	2,22
		C = 0,373 + 0,023 x (B/d) - 0,043 x (L/100) =	0,61
		T = 2 x C x B / (GM) ^{1/2} =	9,63 s
		s=	0,08614
		θ ₁ =109 x k x x ₁ x x ₂ x (r x s) ^{1/2} =	26,67 °

θ	GZ corr.(m.)	lw ₁	lw ₂
-20	-10,480	0,12	0,19
-10	-5,240	0,12	0,19
0	0,000	0,12	0,19
10	5,240	0,12	0,19
20	5,874	0,12	0,19
30	5,047	0,12	0,19
40	3,873	0,12	0,19
50	1,452	0,12	0,19

Tomando θ₂ = 50°, se comprueba que el área b bajo la curva GZ y por encima de lw₂ es mayor que el área a comprendida entre lw₂ y GZ





B.V. Register n° : 28924R
 Name of vessel : TRHEINTAYUNO
 Type of Ship : Tugboat
 Year of build: 2016
 Shipyard : Astilleros Armón, S.A.
 Yard number : 767
 Owner : Remolques Unidos, S.L.

ATTESTATION

Issued within the scope of the Bureau Veritas Marine & Offshore Division General Conditions
 Délivrée dans le cadre des Conditions Générales de la Direction Marine & Offshore du Bureau Veritas

The undersigned, Ainhoa Campo, Surveyor to Bureau Veritas Iberia S.L.U. at Gijón (Spain)

DECLARES:

That upon request of Astilleros Armón, S.A., she did attend (on 21st June 2016) at Gijón, (Spain) the Static Bollard Pull Test (Aft) carried out in above vessel.

That here below figures have been registered:

Static Bollard Pull : **90.7 Tons**

Maximum Bollard Pull : **99.85 Tons**

The test has been carried out under the conditions as per attached test sheet reference: GJN0/16/0087-BPAT

In witness whereof the present Attestation is delivered for the end and purposes for which it was designed.

At Gijón, (Spain) on the 04th of July, 2016

The Surveyor


 A. Campo



The latest published Rules of the Bureau Veritas Marine Division and the General Conditions therein are applicable.
 La dernière édition des Règlements de la Division Marine du Bureau Veritas ainsi que les conditions Générales qui y figurent sont applicables

Any person not a party to the contract pursuant to which this certificate is delivered
 may not assert a claim against Bureau Veritas for any liability arising out of errors or
 omissions which may be contained in this certificate, or for errors of judgement, fault
 or negligence committed by personnel of the Society or of its Agents in the
 establishment or issuance of this certificate, and in connection with any activities for

Toute personne qui n'est pas partie au contrat aux termes duquel ce document est
 délivré ne pourra engager la responsabilité du Bureau Veritas pour les inexactitudes
 ou omissions qui pourraient y être relatives ainsi que pour les erreurs de jugement,
 fautes ou négligences commises par le personnel de la Société ou par ses agents dans
 l'établissement de ce document et dans l'exécution des interventions qu'il comporte.



Certificate for Steel Wire Rope

Office	Busan Port Office	Date of Issue	12 June 2015
Manufacturer	CHUNG WOO ROPE CO., LTD.	Purchaser	SUMINISTROS BEZABALA S.A.
Client	CHUNG WOO ROPE CO., LTD.	Purchaser's order number	70332
Work's order number	G6365600-01	Intended for ship/yard	
Order Status		Final date of inspection	12 June 2015
First date of inspection	12 June 2015		

This certificate is issued to the above Client to certify that the undersigned Surveyor did at their request attend the manufacturer's works on the dates shown for the purposes of examining and testing the items listed below in accordance with the requirements of Lloyd's Register Asia. The wire rope has been examined and the tests detailed below witnessed by the undersigned with

Particulars			
Length	Stated 750 m x 1 R/L	Nominal Diameter	56 mm
Number of strands	6	Core of rope	IWRC
Number of wires per strand	36WS	Grade of zinc coating	Class "B"
Diameter of wire	d3=3.20,dw=1.99,d2=2.58,d1=2.65	Specific weight (kg/m)	
Specific range of tensile strength of wire		Rope construction	6XWS36+IWRC
Construction of strand	14/7 and 7/7/1		
Lay (if other than right hand ordinary)	Left regular lay (LHRL)		
Applicable standard or specification	PURCHASER'S SPEC & EN 12385 : Part4 : 2002		

Tests			
Samples have been tested in the following manner:			
Tensile test (Purchaser's SPEC)	Breaking load on full cross section of rope		
Breaking load (kN)	MBL : 2,410kN, Actual : 2,599kN	Laying up (%)	
Tests on six wires	before stranding		
(a) Torsion	Test length between grips	Dia. x 100	d3,dw,d2,d1
	Number of twists before fracture	(turns) min.	32,33,32,34 max.
(b) Zinc coating	Mass of coating per unit area	(g/m ²) min.	d3=138 max.
(c) Dip	In accordance with		carried out with satisfactory results
(d) Wrap	Diameter of mandrel	Dia. x 1	
	Condition of coating after 10 wraps	Good	
(e) Bend	Diameter of mandrel (mm)	d3=9.00, dw=5.50, d2=8.00, d1=8.00	
	Number of bends before fracture	min.	10,10,11,10 max.
	Condition of coating after	Good	bends

Identification Marks			
Type	Diameter	Length	(Initials)
6XWS36+IWRC	56 mm	750 m x 1 R/L	D J H

* Remarks

- Reel No. : 2

* Mass of Zinc coating (g/m²) : min. dw=116, d2=129, d1=133
max. dw=117, d2=131, d1=134

D. J. Hwang
Surveyor to Lloyd's Register Asia
A subsidiary of Lloyd's Register Group Limited



Lloyd's Register Group Limited, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as 'Lloyd's Register'. Lloyd's Register assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

Form 1277 (2013.12)



CERTIFICATE OF MARINE HARDWARE

(Certificate in Acc.to EN 10204 type 3.1)

Hoisting equipment supplied to:
LANKHORST EURONETE ESPAÑA, S.L.
POLIGONO ZAISA III
PABELLON SACYTRANS
20305 IRUN
SPAIN

Certificate number: **15H006713**

Distinguishing mark and number: **7725-1**
Order number: **210017725 / 10**
Client number: **CUS502320**
Your reference: **REM. VEHINTISIETE**
LANKTOW 1233

Working load limit (T): **85 T.**

Description: **TRIANGLE PLATE**
WLL 85 TON
1 PIECE

Dimension: **220x90x90**

Material: **HIGH TENSILE STEEL**

Heat treatment: **NOT APPLICABLE**
Surface finishing: **GALVANISED**

Strength: Proofload applied (kN): **1217 kN**
Coefficient of utilization: **5:1**
Date of test:

Application: **GENERAL**

Hoisting equipment manufactured according standard: **Specification of Manufacturer**

Identification / production number: **314998**

Examination performed by: **LANKHORST ROPES**
MARCONIWEG 24
3318 AM DORDRECHT
NETHERLAND

Date of delivery	Note of delivery	Stamp third party	Signature of competent person
23-02-2015			

The undersigned certifies on behalf of his company that above particulars are correct and that the described hoisting equipment and its steel parts are according to the regulations of the D.G. Machinery Directive 2006/42/EC, appendix I.A. The ascending, examination and test were carried out under his supervision by a competent person, according to the actual code of practice.



P.O. Box 1038
3300 SA Dordrecht
The Netherlands

Marconiweg 24
3318 AM Dordrecht
The Netherlands

T: +31 (0) 78 6117 750
F: +31 (0) 78 6117 750
VAT nr: 0047 56 174 B01

ABN AMRO Bank
Acc.nr: 45 45 31 524
IBAN nr: NL61ABNA0454651524
SWIFT code: ABNANL2A
Chamber of Commerce: 01043173

APROBADO POR:
Approved by:
Lloyd's Register
Det Norske Veritas
Bureau Veritas
Inspección de Buques

Suministros BEZABALA S.A.
PARQUE EMPRESAR. BOROA, 2A-1ª 48340 AMOREBIETA - ETXANO (BIZKAIA)
Telf.: . Fax: .www.bezabala.es

CERTIFICADO DE CALIDAD Nº 1501418-02

QUALITY CERTIFICATE

Declaramos que el equipo abajo descrito ha sido fabricado y revisado de acuerdo a los requisitos de la directiva 2006/42/CE

El presente certificado es nulo en caso de modificación del equipo sin nuestro consentimiento.

We declare that the equipment described below has been conceived, produced and revised in accordance with the basic requirements of the directive 2006/42/CE.

This certificate is null and void in case of any modification of the mentioned equipment without our explicit agreement.

CLIENTE: REMOLQUES UNIDOS S.L.

N. DE PEDIDO: pedido ROBERTO GONZALEZ
Order no

FECHA: 04/03/2015
Date

FABRICANTE/SUMINISTRADOR: SUMINISTROS BEZABALA S.A.
Manufacturer/Supplier

REFERENCIA: 6GARLTP300BEZ
Ref

UNIDADES:
Unit

CANTIDAD: 6
Quantity

DESCRIPCION DEL MATERIAL: GRILLETE A.R LIRA TIPO HC-2 DE 3"
Material description

SEGÚN NORMAS:
Rules

- CARGA UTIL DE TRABAJO: 85.000 KG
Safe working load
- CARGA DE PRUEBA: 170.000 KG
Proof load
- CARGA DE ROTURA: 425.000 KG
Breaking load

ESPECIFICACIONES: EN 13889
Specifications:

04/03/2015
VERIFICADOR
The tester





MARINE DIVISION

Certificate number: 022PRT13

www.veristar.com

CERTIFICATE FOR ROPE (NON METALLIC) AND ACCESSORIES

Manufacturer : SICOR - SOCIEDADE INDUSTRIAL DE CORDOARIA SA (Ovar - PRT)
Work's ref N° : 1529 - item 1
Purchaser : PESCAIRA S.L (VIGO - ESP)
Purchaser's order N° : 1529 P.O.Item N° : 1
Requirements : Bureau Veritas Rules for the Classification of Steel Ships (Jan. 2012);ISO 2307

Product description : Syntectic ropes

Design review : Reference(s) : NA

Quantity : 1 coil

Type : Estacha Nylon 4x2; 122mm en 50 m con guardacabos reforzado con an
Material : Nylon
External diameter : 122mm
Number of strands : 4x2
Breaking load : 2411kN
Minimum Breaking Load : 235 Ton
Lenght of each Rope : 50m

Enclosures / Remarks : Corlab Test report N° 372/2013

This certificate is issued by Bureau Veritas as per the above Classification Rules and in compliance with the applicable technical requirements therein.

Marking : & Type: Nylon; Size 122 mm; MBL 235Ton; Rolo 1 (50 m); BVN022PRT13
Last survey : 25 Jan 2013 Issuance date : 25 Jan 2013
Surveyor : Julio VIANA Office : BV PORTO





ABS

CERTIFICATE NUMBER

04-HS4538458-PDA

DATE

12 October 2004

ABS TECHNICAL OFFICE

Houston SED - Ship Systems

CERTIFICATE OF Design Assessment

This is to Certify that a representative of this Bureau did, at the request of

Julian A. Mcdermott Corp.

assess design plans and data for the below listed product. This assessment is a representation by the Bureau as to the degree of compliance the design exhibits with applicable sections of the Rules. This assessment does not waive unit certification or classification procedures required by ABS Rules for products to be installed in ABS classed vessels or facilities. This certificate, by itself, does not reflect that the product is Type Approved. The scope and limitations of this assessment are detailed on the pages attached to this certificate. It will remain valid for five years from the date of issue or until the Rules or specifications used in the assessment are revised (whichever occurs first).

PRODUCT: Lighting, Navigation Lights
MODEL: Series BGLED50L
ABS RULE: 2004 Steel Vessel Rules 1-1-4/3.7, 4-8-2/11.3
2001 MODU Rules 4-3-2/13.3
OTHER STANDARD: ITL Boulder Laboratories Report No. ITL50355, 50504, 50603, 50647 & 50648 certifies the following:
1980 Inland Navigation Rules
International Regulations for Preventing Collision at Sea (1972 Colregs)
Title 46, Code of Federal Regulations (46 CFR) 111.75-17
Underwriters Laboratory Standard UL 1104;

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING

[Signature]
Hans P. Haendler
Engineering Type Approval Co-ordinator

AB258931911

NOTE: This certificate evidences compliance with one or more of the Rules, Guides, standards or other criteria of American Bureau of Shipping or a statutory, industrial or manufacturer's standard and is issued solely for the use of the Bureau, its members, its clients or other authorized entities. Any significant changes to the above-mentioned product without ABS approval will result in this certificate becoming null and void. This certificate is governed by the terms and conditions on the reverse side hereof.

TX 0602 01204
LTH 2000